

Würm- und Ammersee

ein hydrographischer Vergleich

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität

zu München

vorgelegt

von

Hermann W a c h t e r

aus

Günzburg

Februar 1958

Berichterstatter: 1. Prof. Dr. H. Louis
2. Prof. Dr. L. Möller

Tag der mündlichen Prüfung: 30. 7. 1958



HERMANN WACHTER

Würm- und Ammersee

Ein hydrographischer Vergleich



AUGUST BAGEL VERLAG · DÜSSELDORF

Herausgegeben von Dr. Günther Simon
und Dr. Hans Schmidt-Ries
im Auftrage
des Vereins der Förderer der Limnologischen
Station Niederrhein e. V.

Die Schriftenreihe erscheint mit Unterstützung
der Max-Planck-Gesellschaft, des Vereins der
Förderer der Limnologischen Station Nieder-
rhein und der Stadt Krefeld

Alle Rechte vorbehalten

Herstellung A. Bagel, Düsseldorf 1959

VORWORT

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich von meinem hochverehrten Lehrer Herrn Dr. F. ZORELL†. Seiner möchte ich an dieser Stelle besonders dankbar gedenken für alle die zahlreichen Hinweise und Förderungen, die er meinen Untersuchungen zuteil werden ließ. Nach seinem plötzlichen und unerwarteten Tode im Januar 1956 übernahm die Betreuung und Ausarbeitung Herr Prof. Dr. H. LOUIS und Frau Prof. Dr. L. MÖLLER. Ihnen möchte ich für alle Unterstützung herzlich danken. Weiterhin bin ich zu großem Dank verpflichtet Herrn Dr. F. WILHELM, der mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Es ist mir ferner eine angenehme Pflicht, auch all jenen meinen Dank auszusprechen, die mir bei meinen Geländearbeiten hilfsbereit zur Seite gestanden sind, vor allem der Leitung des Bayer. Roten Kreuzes, die die Unterbringung des Bootes am Würmsee im Bootsschuppen des Kinderheimes Seeburg ermöglichte. Ebenso gebührt herzlicher Dank denen, die mir bei den Schreibarbeiten und den Korrekturen hilfreich beigestanden sind. Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern danken, die viele Opfer brachten, um mein Studium zu ermöglichen.

Ganz besonderer Dank gebührt der Limnologischen Station Niederrhein in Krefeld-Hülserberg und der Max-Planck-Gesellschaft, die es mir ermöglichten, meine Arbeit in der Zeitschriftenreihe „Gewässer und Abwässer“ in dieser schönen und großzügigen Ausstattung zum Abdruck und zur Veröffentlichung zu bringen.

München, im Februar 1958



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555205_0053

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	9
Geschichtliches	10
A. Einordnung des Untersuchungsgebietes	12
I. In morphologisch-geologischer Hinsicht	12
Würmsee	12
Name	12
Lage	12
Entstehung	12
Morphometrie	13
Ammersee	14
Lage	14
Morphometrie	15
II. In klimatologischer Hinsicht	15
III. In hydrographischer Hinsicht	16
B. Die Beobachtungen der Jahre 1955/56	16
I. Die laufend gemessenen meteorologischen und hydrologischen Daten der staatlichen Anstalten für 1955/56	16
1. Lufttemperatur, Wind, Niederschlag	16
2. Zu- und Abflußmessungen der Seen	19
a) Würmsee	19
b) Ammersee	19
c) Zusammenfassung	19
II. Die Serienmessungen an den tiefsten Stellen der Seen	20
1. Gewinnung des Beobachtungsmaterials	20
a) Plan	20
b) Instrumente	21
c) Methoden der Beobachtung	21
α) Auf dem See	21
β) Im Laboratorium	22

d) Die beobachteten Faktoren (zur Theorie)	22
α) Thermik	22
β) Sichttiefen	24
γ) Sauerstoff	25
δ) Karbonathärte	26
ε) Gesamthärte	28
ζ) pH-Werte	28
e) Reduktion und Berechnung	28
α) Temperatur	28
Sauerstoff	29
f) Graphische Darstellung	30
2. Der Würmsee	30
a) Diskussion aller Kurven der einzelnen Beobachtungstage	30
1.—25. Beobachtung	30
b) Ergebnisse der Beobachtungen	50
α) Temperatur	50
β) Sichttiefen	51
Sauerstoff	51
Karbonathärte	52
Gesamthärte	54
pH-Werte	54
c) Die aus den Beobachtungen abgeleiteten Wasserbewegungen	55
3. Der Ammersee	56
a) Diskussion aller Kurven der einzelnen Beobachtungstage	56
1.—13. Beobachtung	58
b) Ergebnisse der Beobachtung	66
α) Temperatur	66
β) Sichttiefen	66
γ) Sauerstoff	67
δ) Karbonathärte	67
ε) Gesamthärte	67
ζ) pH-Werte	68
c) Die aus den Beobachtungen abgeleiteten Wasserbewegungen	68
4. Vergleich der Ergebnisse von Würm- und Ammersee	69
a) Wassererneuerung in beiden Seen	69
b) Schichtungen als Anzeichen der Eutrophierung	69
α) Sauerstoff	70
β) Karbonathärte	71
γ) pH-Werte	71
C. Die gewonnenen Ergebnisse im Vergleich zu den älteren Beobachtungsreihen	73
I. Thermik	73
II. Sichttiefen	73
D. Aufgaben einer Überprüfung resp. Neuaufnahme von Obb. Seen	75
Literaturverzeichnis	76

EINLEITUNG

Die Hydrographische Station Ostersee machte sich in den letzten Jahren die dringend notwendige Neuauslotung der Obb. Seen zur Hauptaufgabe, da sie die Grundlage aller weiteren Seeuntersuchungen bildet. Daneben wurden einige orientierende Beobachtungen über den Sauerstoffgehalt dieser Seen angestellt. Zu den Ergebnissen schreibt ZORELL (1954), daß die Vorstellung, die voralpinen Seen seien vorwiegend oligotroph, wie sie noch in neuerer Literatur (GESSNER 1944) vertreten wird, in dieser allgemeinen Form nicht mehr haltbar sei. So ist beim Kochel- und Tegernsee bereits starke Eutrophierung erkennbar, und der Schliersee wird geradezu als kranker See bezeichnet. Die von MINDER (1938) geschilderte Eutrophierung des Zürichsees, der gegen Ende des letzten Jahrhunderts die Reihe des oligotrophen, alpinen Typs durchbrach und heute zum eutrophen Typ gehört, stand damals einzig da. Nun hat er auch bei unseren Obb. Seen eine Parallele gefunden.

Aus diesem Grunde schien es dringend notwendig, an aller Obb. Seen Untersuchungen über ihren Trophiezustand anzustellen. Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag zu dieser Aufgabe sein, indem sie die Verhältnisse an Würm- und Ammersee näher untersucht. Vor allem wurde dabei großer Wert auf die Bestimmung der Sauerstoffverhältnisse gelegt, da sie, wie MINDER (1943) schreibt, wenn sie planmäßig ausgeführt werden, das beste Auskunftsmittel zur Beurteilung der Seetypenfrage waren und sind, und ihre zentrale Stellung beibehalten werden. Durch chemische Bestimmungen anderweitiger Komponenten oder Gruppen können sie wohl gestützt, kaum jedoch ersetzt oder überholt werden. Aus diesem Grunde wurde vom übrigen Chemismus nur den Bestimmungen der Wasserhärte und der pH-Werte einige Aufmerksamkeit gewidmet. Von den physikalischen Verhältnissen wurde vor allem die Thermik, die die Wasserdichte und damit die Schichtung bedingt, genauer untersucht. Sie hat im Rahmen des Wärmehaushalts nicht nur klimatische Bedeutung für die Seeumgebung, sondern ist vor allem zur Beurteilung der Sauerstoffverhältnisse hinsichtlich der Sättigung von großer Bedeutung. Wichtig ist außerdem, wie AMMANN (1912) schreibt, eine genaue Kenntnis der Wärmeverhältnisse zur Beurteilung der Lebensvorgänge, die wiederum eng mit den Sauerstoffverhältnissen des Sees zusammenhängt.

Mit einiger Vorsicht können auch aus der Sichttiefe Schlüsse auf das Leben im See und damit auch auf die Sauerstoffverhältnisse gezogen werden. Da, abgesehen von Angaben über die Thermik, die meisten Literaturangaben über Sichttiefen vorhanden sind und damit Vergleiche mit früheren Jahren ermöglichen, so wurde auch ihrer Bestimmung einige Aufmerksamkeit gewidmet.

Um einen Vergleich zwischen Würm- und Ammersee, wie ihn diese Arbeit bringen soll, zu ermöglichen, ist es wichtig, auf die Morphometrie beider Seen näher einzugehen, da ihre Kenntnis die Voraussetzung zum Verständnis aller weiteren Arbeiten bildet (ZORELL 1952). Die genauesten Angaben stammen für

beide Seen von ULE (1901 und 1906), der diesen Werten jedoch wenig Bedeutung zubilligt, da sie die charakteristischen Einzelheiten des Bodenreliefs verwischen. Ferner bezweifelt er ihre Genauigkeit. Aber auch THIENEMANN (1928) hält gerade die genaue Bestimmung der morphometrischen Werte eines Sees für die wichtigste Voraussetzung aller weiteren Arbeiten, ja sie gibt seiner Meinung nach erst die Möglichkeit, Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse verschiedener Seen zu vergleichen.

Ein Vergleich von Würm- und Ammersee wurde deshalb gewählt, weil beide Seen nicht nur hinsichtlich ihrer geographischen Lage eng miteinander verbunden sind, sondern auch eine gemeinsame Entstehung hatten, heute jedoch einige grundlegende Unterschiede aufweisen.

Die Grundlage der vorliegenden Arbeit bilden meine eigenen Untersuchungen an beiden Seen in den Jahren 1955 und 1956. Wenn dabei versucht wird, auf Grund dieser Beobachtungen eine Aussage über den Trophiezustand dieser Seen zu machen, so erhebt sie in Anbetracht der Größe des Untersuchungsgebietes keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dazu basiert sie auf viel zu schmaler Grundlage und erstreckt sich über einen zu kurzen Zeitraum. Sie schafft jedoch mit ihren orientierenden Beobachtungen die Voraussetzung zu weiteren, fortlaufenden Untersuchungen, deren Anregung ein wesentliches Ziel dieser Arbeit darstellt.

GESCHICHTLICHES

Über Würm- und Ammersee existieren leider, wie ZORELL (1954) schreibt, keinerlei systematische Untersuchungen des chemischen Zustandes, wenn man von einigen Gesamtanalysen des Abdampfdruckstandes absieht, die ohnedies über den Trophiezustand der Seen kaum Aufschluß geben dürften. Über die morphologischen und physikalischen Verhältnisse dagegen, sowie über die Entstehung dieser Seen, ist die Literatur etwas reichhaltiger, vor allem vom Würmsee, der nach AMMANN (1912) der bestuntersuchte See in Bayern war. Im folgenden sollen jedoch nur Werke erwähnt werden, die im großen und ganzen für die Fragestellung dieser Arbeit von Bedeutung sind.

Die ersten physikalischen Messungen am Würmsee führte SCHLAGINTWEIT-SAKÜLÜNSKI (1867) aus. Ihm folgte dann GEISTBECK (1885), der die erste Tiefenkarte des Würmsees lieferte. Daran schließen sich mehrere geographische und geologische Untersuchungen.

Die erste größere Arbeit stammt von ULE (1901), der in den Jahren 1893 bis 1897 und 1899 bis 1901 umfangreiche, physikalische Beobachtungen ausführte. Er legte vor allem großen Wert auf die Feststellung der thermischen Verhältnisse. So bietet seine Arbeit manche Vergleichsmöglichkeiten, wenn auch ein voller Jahreszyklus des Temperaturganges fehlt. Von Bedeutung sind auch seine Sichttiefenbestimmungen. Ein weiterer Teil seiner Arbeit widmet sich dann der immer wieder diskutierten Frage der Entstehung des Sees. Von besonderer Bedeutung für meine Arbeit waren seine morphologischen Studien, deren Hauptergebnis seine neue Tiefenkarte war. Wenn diese Karte, wie sich bei der Vorbereitung einer geplanten Neuauslotung durch ZORELL zeigte, auch noch kleinere Fehler aufweist, so kann sie dennoch mit gutem Gewissen verwendet werden, da die enthaltenen Abweichungen kaum die Fehlergrenze übersteigen. Es zeigte sich z.B.,

daß die tiefste Stelle des Sees nicht, wie ULE angibt, 123 m sondern etwa 127 m beträgt. Für das Gesamtvolumen des Sees ist dies jedoch nicht von besonderer Bedeutung, da sich herausstellte, daß es nur eine kleine Vertiefung im Seegrund sein kann, denn oft brachten schon Drehungen des Bootes bei nacheinander ausgeführten Lotungen unterschiedliche Ergebnisse.

Besonders erwähnenswert ist dann die Arbeit von AMMANN (1912), der neben sehr interessanten, biologischen Beobachtungen und Sichttiefenbestimmungen auch den ersten Jahreszyklus des Temperaturganges bringt. Ihm kommt insofern besondere Bedeutung zu, als er in einem für unsere Verhältnisse sehr warmen Jahre, das sich vor allem im Sommer durch beständige Schönwetterlagen auszeichnete, gemacht wurde. So verzeichnet AMMANN am 28. 7. 1911 noch in 4 m Tiefe eine Temperatur von $21,2^{\circ}$, einen Wert, der während meiner Beobachtungszeit sogar für die Oberflächentemperatur nur einmal erreicht wurde. Die beiden Sommer meiner Beobachtungszeit von Mai 1955 bis November 1956 zeichneten sich dagegen durch häufig unfreundliches und unbeständiges Wetter aus. Dies machte es mir auch unmöglich, meine Beobachtung in regelmäßigen Zeitabständen durchzuführen. Ähnlich erging es ULE 1895/96 bei seinen Arbeiten am Würmsees, wo sich die schlechte Witterung ebenfalls als großes Hindernis erwies.

Der Ammersee ist, wie ULE (1906) schreibt, weit weniger als der Würmsees Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen. Dies wird auch von BURZ (1951) angedeutet, wenn er die vorhandene Literatur als spärlich bezeichnet. Nach PENCK (1882) befaßte sich GEISTBECK im Rahmen seiner Arbeit über die deutschen Alpenseen genauer mit der Morphologie des Sees und ihm verdanken wir das erste, ungefähre Bild von der Form des Seebeckens. Genauer widmete sich dann wieder ULE (1906) der Morphologie und fertigte eine Tiefenkarte an, die der des Würmsees entspricht. Seine Arbeit schließt mit einigen Temperatur- und Sichttiefenbestimmungen.

Die erste bedeutende und umfangreiche Arbeit über die physikalischen Verhältnisse stammt von BURZ (1951), der auf Grund von zahlreichen Temperaturlotungen in der Zeit von April 1949 bis August 1950 eine Arbeit über den Wärmehaushalt des Ammersees fertigte.

A. EINORDNUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

I. In morphologisch-geologischer Hinsicht

WÜRMSEE

Name:

Der Würmsee wird heute im Volksmund fast ausschließlich Starnberger See genannt. Trotzdem soll in dieser Arbeit der Name „Würmsee“ beibehalten werden, da dies der ursprüngliche und deshalb auch, wie ULE (1901) schreibt, der einzig richtige ist. So beschreibt ihn z. B. APIAN (1565) in seiner Topographie von Bayern als „Lacus Wirmius, vulgo Wirmsee, hic omnium, qui in Bavaria sunt, Longissimus est“. Ebenso ist er im Strom-Atlas von Bayern (1806) als Würmsee eingezeichnet und im Repertorium des topographischen Atlasblattes Wolfratshausen (1820) als Würmsee geführt.

Lage:

Umgeben von den diluvialen Moränen der letzten Eiszeit liegt der Würmsee als langgedehntes Wasserbecken, das sich in nord-südlicher Richtung erstreckt, etwa 20 km mit seinem Südende vom Fuße der Alpen entfernt. Er gehört, wie der benachbarte Ammersee, zu den alpinen Vorlandseen. An landschaftlicher Schönheit übertrifft er jedoch seinen westlichen Nachbarn und wird deshalb auch in der älteren Literatur häufiger gerühmt.

Im Norden trennt ihn ein mächtiges Moränenamphitheater, das nur von der Würm, dem Abfluß des Sees, durchschnitten wird, von der vorgelagerten diluvialen Schotterfläche, auf der auch München liegt. Der östliche Moränenwall, der größtenteils bewaldet ist, drängt sich dicht an das Seeufer und fällt steil zu ihm ab. Für Besiedelung findet sich wenig Platz. Ein anderes Gesicht zeigt das Westufer. Es ist reicher gegliedert; die Moränen weichen in ihren höchsten Rücken 1 bis 2 km vom See zurück und bieten so reiche Möglichkeit zur Besiedlung, die leider in allzu gründlicher Weise davon Gebrauch machte. Im Süden erstreckt sich zwischen dem See und der malerischen Toteislandschaft der Osterseen ein flacher, diluvialer Schwenmkegel, dessen Oberfläche heute 10 m über dem Wasserspiegel liegt.

Entstehung:

Die Entstehung des Würmsees war schon häufig Anlaß zu wissenschaftlichen Auseinandersetzungen, und ULE (1901) schreibt, daß der See in diesem Streit geradezu historische Bedeutung erlangte. So trat PENCK (1882) für die Glazial-

erosion als Entstehung ein, während seine Gegner, wie der Schweizer Geologe ALBERT HEIM und später ULE und HALBFASS, eine fluviatile Entstehung annahmen.

Sicher ist jedenfalls, daß der See im Zungenbecken des ehemaligen Gletschers liegt. Dort machen sich bekanntlich Stauwirkungen bemerkbar. Andererseits ist die Wasserführung des Gletscherbaches, der hier unter hydrostatischem Druck steht, am größten. Es werden also wohl beide Faktoren das Zustandekommen des Sees bewirkt haben, jedoch ist hier in dieser Arbeit nicht der Ort, ein endgültiges Urteil zu fällen.

Morphometrie:

Der wenig gegliederte See hat eine ausgesprochen talartige Gestalt, wenn man vom Gefälle des Bodens absieht. Seine größte Breite beträgt nur 4,7 km, die er im Karpfenwinkel südlich von Trutzing erreicht. Die größte Länge mißt 19,9 km und übertrifft die größte Breite damit um mehr als das Vierfache. ULE gibt seine Fläche mit 57,1 qkm an. Damit steht der Würmsees an zweiter Stelle unter den deutschen alpinen Vorlandseen.

Die Mittellinie, als Linie gleichen Abstandes von beiden Ufern, mißt 20,6 km. Sie übertrifft die Lufflinie ganz unbedeutend, was die einförmige Gestalt des Beckens unterstreicht. Aus der Division der Seefläche durch diese Mittellinie ergibt sich eine mittlere Breite von 2,8 km. Sie entspricht genau der Seebreite an der tiefsten Stelle des Sees; der nördliche, tiefe Teil ist durchwegs sogar schmaler. Aus dem Verhältnis von mittlerer Breite zur Länge, die sich wie 1 zu 7,3 verhalten, wird ebenfalls der talartige Charakter des Sees deutlich.

Der Umfang des Sees wird von ULE mit etwa 49,5 km angegeben. Er erhielt diesen Wert durch Planimetrieren aus Karten mit verschiedenen Maßstäben. In diesem Wert ist auch die Küstenlinie der einzigen größeren Insel, die der See besitzt, der Roseninsel, eingerechnet. Sie liegt nahe dem Westufer bei Feldafing auf einer unterseeischen Terrasse, wie ein Blick auf die Tiefenkarte zeigt. Die Insel ist 0,0169 qkm groß. Setzen wir ihre Fläche ins Verhältnis zum Seearaal, so ergibt sich die sog. Insulosität; für den Würmsees der geringe Betrag von 0,0003.

Die Uferentwicklung und damit die Gliederung des Sees wird am besten ausgedrückt, indem man die Länge der Uferlinie, also 49,5 km, mit dem Umfang eines Kreises vergleicht, dessen Areal dem des Sees entspricht. Es ergibt sich daraus ein Wert von 1,87. Der wahre Umfang des Sees ist also nur 1,87mal größer als der kleinstmögliche für diese Seefläche. Dies hebt wieder die geringe Gliederung hervor.

Die größte Tiefe liegt auf der Linie Tutzing—Schloß Seeburg, also am Beginn des schmalen, aber tiefen Nordteils. Nach meinen eigenen Lotungen beträgt sie 127 m. Dieser Wert wurde zweimal direkt und mehrere Male annähernd erreicht. Die wirkliche Maximaltiefe kann zwar noch etwas größer sein, aber nicht wesentlich den Wert 127 m übersteigen, da es sich um ein sehr kleines Gebiet handeln dürfte, das von der 125 m Isobathe eingeschlossen wird. Die größte von ULE (1901) erreichte Tiefe beträgt 123 m. Die Umrechnung meines Wertes auf den mittleren Wasserstand wurde nicht vorgenommen, da die Lage nicht genau bestimmt wurde (durch Peilungen) und außerdem eine Neuauslotung des gesamten Sees geplant ist.

Besseren Aufschluß über die Form des Seebeckens gibt jedoch die mittlere Tiefe des Sees. ULE berechnete sie auf fünf verschiedene Arten und erhielt den Mittelwert 54,0 m. Somit verhält sich die mittlere Tiefe zur Maximaltiefe wie 54 : 127

oder 1 : 2,35; sie beträgt also nur 42,5%, der größten Tiefe. Für das Volumen des Sees ergibt sich sodann aus mittlerer Tiefe und Seecareal ein Wert von 3100 Mill. cbm = 3,1 km³.

Nach FOREL (1901) ist die Hypsographische-Kurve von PENCK (1894) das geeignetste Mittel, die Form eines Seebeckens genau auszudrücken. Ihrer Einfachheit und Übersichtlichkeit wegen ist sie deshalb auch das ideale Mittel, einzelne Seen hinsichtlich ihrer Morphometrie zu vergleichen (s. Abb. 1). Die Werte dazu sind aus ULE (Der Würmsee 1901) entnommen.

Ein Blick auf die Tiefenkarte des Sees (s. ULE 1901) soll unser Bild vom Seebecken noch vervollständigen. Es zeigt sich z. B., daß der See auch einen Schweb besitzt, der sich aber in der hypsographischen Kurve nicht erkennen ließ, da er sich langsam von Süden bis zur Seemitte absenkt und dann im nördlichen Teil wieder ansteigt. Im Osten fallen die Seewände etwas steiler zu ihm ab als im Westen und gleichen so der Gestaltung der Seenumgebung.

AMMERSEE

Lage:

Wo sich einst die Gletscher des Wetterstein- und Karwendelgebirges am weitesten nach Norden vorgeschoben haben, liegt heute der Ammersee. Wenn sein Südende auch 35 km vom Fuße der Alpen entfernt ist, so gehört er doch, wie der benachbarte Würmsee, zu den alpinen Vorlandseen, denn seine Entstehung ist eng mit der letzten geologischen Geschichte der Alpen verknüpft. Der heutige See stellt nur noch den Rest des ehemaligen postglazialen Sees dar. Im Norden trennt ihn von seiner ehemaligen Begrenzung, dem mächtigen Endmoränenwall, eine Moorfläche, die von Grafrath bis Stegen reicht. Das einstige Südufer des Sees wird von ULE (1906) in der Gegend von Weilheim vermutet. Zum gleichen Ergebnis kommt BURZ (1951), der für das Ammerdelta eine Länge von 15 km annimmt. Noch heute baut die Ammer unentwegt daran weiter, was der unruhige Küstenverlauf im Süden deutlich zeigt. Auch der Pilsensee gehörte einst zum Becken des Ammersees. Durch eine sukzessive, postglaziale Senkung des Seespiegels um 20 m, die BURZ (1951) auf Grund eigener Untersuchungen und nach eingehender Würdigung der Arbeiten von PENCK (1901, 1922), ROTHPLETZ (1917) und GAMS-NORDHAGEN (1923) für erwiesen hält, wurde der Pilsensee vom Ammersee getrennt. So ist der heutige See nur noch ein Rest des einst viel größeren, postglazialen Ammersees.

Die Ufer des Sees erinnern ganz an die Verhältnisse des Würmsees, wenn sie auch relativ, also auf den Wasserspiegel bezogen, 50 m niedriger sind als dort. Im Osten treten die Höhenrücken mit steilen Abfällen nahe an das Ufer heran, das wenig gegliedert ist. Nur in der Herrschinger Bucht erfährt es eine größere Unterbrechung, die jedoch den Landschaftscharakter kaum beeinflusst, da auch die Bucht meist von steilen, waldbedeckten Hängen gesäumt wird.

Ganz anders dagegen liegen die Verhältnisse am Westufer. Der See besitzt hier viele Buchten und Vorsprünge. An das Ufer schließt sich ein sanftwelliges Gelände mit Wiesen und Feldern, das sich nur zögernd zu größeren Höhen erhebt. Hier bot sich Raum für zahlreiche Siedlungen, und die Eisenbahn zieht hier wie am Westufer des Würmsees entlang.

Morphometrie:

In seiner langgestreckten Form, die außer der Herrschinger Bucht ohne besondere Gliederung ist, gleicht der Ammersee ganz seinem östlichen Nachbarn. ULE (1906) gibt für die Seefläche 47 km^2 an. Dieser Wert stellt eine Näherung dar, da es ULE auf Grund des unvollständigen Kartenmaterials und anderer widersprechender Angaben nicht möglich war, die genaue Größe des Seearcals festzustellen. Seiner Meinung nach dürfte dieser Wert dem genauen jedoch sehr nahe kommen und ohne großen Fehler bei Berechnungen verwendet werden.

Die Uferlinie, die diese Seefläche umschließt, hat eine Länge von 43 km. Vergleichen wir diesen Umfang mit dem eines flächengleichen Kreises, so ergibt sich die Grenzentwicklung, die für den Ammersee 1,77 beträgt. Damit übertrifft er also noch den Würmsee an Einfachheit der Gestalt, denn der entsprechende Wert ergab für diesen 1,87.

Die Seebreite schwankt zwischen 2,5 und 3,5 km und vergrößert sich nur in der Herrschinger Bucht auf 5,5 km.

Die Längenausdehnung des Sees beträgt 15,2 km. Die Mittellinie die im gleichen Abstand von beiden Seeufern verläuft, erreicht 16,2 km. Wird nun das Areal der Seefläche durch diese Mittellinie geteilt, so ergibt sich daraus die mittlere Breite des Sees mit 2,9 km.

Die größte Tiefe des Sees beträgt nach Lotungen von ULE 82,5 m und liegt an der breitesten Stelle des Schwebs, etwa auf der Höhe des südlichen Beginns der Herrschinger Bucht. Diese Tatsache, daß die größte Tiefe mit der größten Breite des Schwebs zusammenfällt, unterstreicht, wie die oben genannte Grenzentwicklung, die noch einfachere Form des Ammerseebeckens gegenüber dem Würmsee. Noch besser wird die Form des Seebeckens jedoch durch die mittlere Tiefe charakterisiert, die ULE mit 37,8 m angibt. Aus diesem Wert und der Seeoberfläche läßt sich durch Multiplikation leicht das Seevolumen gleich 1779 Mill. m^3 berechnen. Eine weitere Möglichkeit, das Seebecken darzustellen, bietet uns die hypso-graphische Kurve (s. Abb. 1), die nach Angaben von ULE gezeichnet wurde. Auch hier tritt die einfache Seegestaltung gegenüber dem Würmsee in Erscheinung, wie sich leicht aus dieser Abb. erkennen läßt.

Beenden wir die Morphologie mit einem Blick auf die Tiefenkarte des Sees, so fällt vor allem ein charakteristischer Zug des Ammerseebeckens auf: Der ganze See wird von seiner tiefsten Einsenkung in Form einer einheitlichen Rinne durchzogen. Die Sohle der Rinne ist flach und stellt genau das dar, was unter einem echten Schweb verstanden wird. Die Grenze des Schwebs bildet die 70 m Isobathe. Von hier aus steigt dann der Boden unter verschiedenen Böschungswinkeln an. Im Westen etwas steiler. Hier erreicht der Böschungswinkel ein Maximum von über 10° , im Osten dagegen nur 6° .

II. In klimatologischer Hinsicht

Würm- und Ammersee liegen annähernd auf derselben geogr. Breite (48° N) nördlich der Alpen. Die geringste Entfernung zwischen den Ufern beider Seen beträgt auf der Höhe von Tutzing etwa 10 km Luftlinie. Der Höhenunterschied zwischen dem Seespiegel des Würm- und Ammersees beträgt 50 m, wobei letzterer der tiefer gelegene ist. Ebenso ist die Seegestaltung und Umgebung bei beiden Seen ähnlich. Die Seebecken sind von Moränenzügen umgeben, die sich im Osten

etwas näher an den See drängen, im Westen, der Hauptwindrichtung unserer Breiten, weichen sie etwas flacher vom See zurück.

Aus diesen Tatsachen darf angenommen werden, daß sich zwischen beiden Seen kaum klimatische Unterschiede ergeben, und eventuelle, geringe, lokalklimatische Differenzen können vernachlässigt werden. Zur Beurteilung der Meßergebnisse von beiden Seen dürfen also ohne Bedenken die Angaben der Wetterstation Ammerland, die als einzige in diesem Gebiet liegt, verwendet werden. Der Witterungsablauf in beiden Beobachtungsjahren wird weiter unten in dieser Arbeit (s. B 1, a) näher erläutert. Es sei deshalb hier nur auf diesen Abschnitt verwiesen.

III. In hydrographischer Hinsicht

Das Einzugsgebiet des Würmsee ist sehr einfach gestaltet und bildet nur eine schmale Talsenke. Seinen Hauptzufluß erhält er aus den Mooren und Seen der an seinem Südennde gelegenen Toteislandschaft. Die Zuflüsse von beiden Seiten sind nur unbedeutende Rinnsale. Sein Niederschlagsgebiet beträgt nach neuesten Vermessungen lt. Angabe des Landesamtes für Gewässerkunde 321 qkm einschließlich der Seefläche. Aus diesem Gebiet ergab sich im hydrographischen Jahr 1955 bei Starnberg ein Abfluß von 193,57 Mill. m³, 1956 waren es nur 160,49 Mill. m³.

Beim Ammersee wird der Gegensatz von Ost- und Westufer auch durch die hydrographischen Verhältnisse unterstrichen. Das Westufer wird von zahlreichen Bächen durchflossen, die dem See zueilen. Das Ostufer erhält dagegen nur durch den Kienbach und den Abfluß aus dem Pilsensee einen größeren Zufluß, wobei der Kienbach, der eigentlich in einem Längstal zum See fließt, nur durch die östliche Ausbuchtung des Ammersees eingefangen wird. Die übrigen Längstalbäche münden nördlich des Sees in die Amper. Den Hauptzufluß erhält der See jedoch durch die Ammer. Ihr Quellgebiet liegt in den nördlichen Kalkalpen. Sie ist somit noch ein typischer Alpenfluß, der den Ammersee auch heute noch mit dem niederschlagsreichen Gebiet der Alpen verbindet, im Gegensatz zum Würmsee. Das Einzugsgebiet der Ammer bis zur Mündung in den See beträgt nach BURZ (1951) 787,93 qkm. Das Gesamteinzugsgebiet des Ammersees wird vom Landesamt für Gewässerkunde München mit 988,51 qkm angegeben. Aus diesem Niederschlagsgebiet ergab sich bei Stegen ein Jahresabfluß für das hydrographische Jahr 1955 von 863,965 Mill. m³ und für 1956 von 728,57 Mill. m³.

Vergleichen wir nun die Niederschlagsgebiete und die Abflußmengen beider Seen, so gestalten sich die Verhältnisse bei letzteren noch ungünstiger für den Würmsee. Bei einem mehr als dreimal kleineren Niederschlagsgebiet erreicht die ihm zur Verfügung stehende Wassermenge nicht einmal annähernd den vierten Teil derjenigen, über die der Ammersee verfügt.

B. DIE BEOBACHTUNGEN DER JAHRE 1955/56

I. Die laufend gemessenen meteorologischen und hydrologischen Daten der staatlichen Anstalten für 1955/56

1. Lufttemperatur, Wind, Niederschlag.

Die nachfolgend beschriebenen meteorologischen Daten stammen von der Wetterstation Ammerland und wurden mir freundlicherweise vom Wetteramt München überlassen (s. Tab. 1a u. 1b). Aus den unter A II angeführten Gründen können diese Angaben für beide Seen unverändert gewertet werden. An dieser Stelle soll nur ein großzügiger Überblick über den Witterungsablauf der beiden Jahre gegeben werden, da auf wichtige Faktoren weiter unten bei der Besprechung der Beobachtungstage noch gesondert hingewiesen wird.

Tabelle 1a: Meteorologische Daten der Station Ammerland für 1955 (zu S. 17)

Monat	Temp.-Mittel °C	Windmittel m/sec	Vorw. Windrichtung	Niederschl. (mm)
I	—2,0	1,4	NW	81,0
II	—1,0	1,9	W	77,3
III	0,2	1,4	NE	44,5
IV	6,1	1,3	NW	110,7
V	10,2	1,5	W	99,1
VI	14,7	1,3	NW	138,3
VII	16,1	1,4	NW	212,1
VIII	15,5	1,2	NW	69,4
IX	12,9	1,4	NW	110,4
X	7,6	1,4	W	63,1
XI	1,8	1,2	N	15,6
XII	2,6	1,8	W	76,3

Tabelle 1b: Meteorologische Daten der Station Ammerland für 1956 (zu S. 17)

Monat	Temp.-Mittel °C	Windmittel m/sec	Vorw. Windrichtung	Niederschl. (mm)
I	0,1	1,4	W	93,5
II	—12,4	1,3	NW	18,3
III	2,4	1,9	W	41,2
IV	5,7	1,4	W	62,4
V	11,4	1,3	W	109,4
VI	12,3	1,3	W	213,2
VII	16,4	1,3	NW	165,1
VIII	15,1	1,5	W	146,6
IX	14,1	1,3	W	51,8
X	7,4	1,4	W	110,0
XI	1,2	1,7	W	39,6
XII	—0,1	1,4	W	19,0

Die ersten drei Monate des Jahres 1955 sind durchweg kalt. Die Monatsmittel steigen von -2° auf $+0,2^{\circ}$ im März, während die Niederschlagsmenge sinkt. Sehr windreich ist der Februar, der vor allem in seiner ersten Hälfte zahlreiche W-Stürme aufweist. Auch die beiden anderen Monate können mit einem Mittel von Windstärke 1,4 noch nicht windarm bezeichnet werden. Der April überschreitet mit $6,1^{\circ}$ Monatsmittel bereits die Grenze der Vegetationsruhe. Er bringt mit 110,7 mm mehr Niederschlag als seine Vorgänger, ist aber windärmer geworden. Der Mai zeigt sich wieder recht windreich und übertrifft mit einer durchschnittlichen Windstärke von 1,5 merklich die beiden folgenden Monate. Dafür fällt im Juli mit 212,1 mm mehr als die doppelte Niederschlagsmenge. Mit $16,1^{\circ}$ ist der Juli neben dem niederschlagsreichsten auch der wärmste Monat des Jahres. Als wind- und niederschlagsarmer Monat schließt sich der August an. Er ist nur $0,6^{\circ}$ kälter als sein Vormonat. Im September und Oktober leben die Winde wieder auf, das Temperaturmittel sinkt im Oktober bereits auf $7,6^{\circ}$ ab. Die Niederschlagsmenge gleicht dem August, während der September mit 110,4 mm wesentlich feuchter ist. Der November ist mit 15,8 mm der niederschlagsärmste und daneben mit dem August der windärmste Monat des Jahres. Am Monatsende wird es bereits recht kalt, so daß die Mitteltemperatur nur mehr $1,8^{\circ}$ erreicht. Der letzte Monat des Jahres bringt zwar nochmals etwas wärmeres, dafür aber sehr windreiches Wetter und steht dem Februar als windreichstem Monat nur wenig nach.

Im Januar 1956 herrscht mit $0,1^{\circ}$ verhältnismäßig mildes Wetter. Um so kälter zeigt sich dafür der Februar mit dem ausnahmsweise tiefen Monatsmittel von $-12,4^{\circ}$. Die geringen Niederschläge fallen als Schnee. Durch eine Reihe von Tagen mit W-Stürmen löst der März diesen Witterungsabschnitt ab. Der April ist zwar noch recht windreich, weist aber keine Sturmtage wie sein Vorgänger auf. Die Niederschläge steigen langsam an, im Mai bereits auf 109,4 mm, um im Juni die maximalen Werte des Jahres mit 213,2 mm zu erreichen. Die Temperaturen sind dagegen erst im Mittel auf $12,3^{\circ}$ gestiegen. Merklich wärmer wird es dann im Juli mit $16,4^{\circ}$. Die Niederschläge nehmen nicht sehr bedeutend ab und sind im August erst auf 146,6 mm gesunken. Während aber die drei vorausgehenden Monate mit Windmitteln von 1,3 als mäßig bewegt angesprochen werden können, verstärkt sich die Luftbewegung im August recht merklich. Der September bringt wieder ruhiges und vor allem trockenes Wetter. Dafür frischen die Winde im Oktober wieder etwas auf. Kalte Witterungsabschnitte lassen die Durchschnittstemperatur fast auf die Hälfte des Vormonats sinken. Recht windreich wird das Wettergeschehen der letzten beiden Monate, vor allem Ende November. Die Niederschläge nehmen stark ab, so daß der Dezember mit 19,0 mm fast das Jahresminimum des Februars erreicht. Die zweite Dezemberhälfte bringt ausgeprägtes Winterwetter und drückt das Monatsmittel auf $-0,1^{\circ}$.

Vergleichen wir kurz den Witterungsablauf von 1956 mit dem des vorhergehenden Jahres (s. Abb. 2 und Abb. 3), so zeigt sich, daß die Monate Januar, März, Mai und September etwa $1-2^{\circ}$ wärmer waren, der Februar aber $11,4^{\circ}$ kälter als ein Jahr zuvor; auch im Juni war es um $2,4^{\circ}$ merklich kühler.

In beiden Jahren war die vorherrschende Windrichtung der wärmeren Jahreszeit W—NW, wobei alle Stürme aus Westen kamen. Bei schönem Wetter (Hochdrucklagen) und in der kalten Jahreszeit wehten etwas häufiger Winde aus N—O. Die Niederschlagsmengen waren zwar in beiden Jahren mit nur etwa 30 mm Unterschied nahezu gleich, nicht aber in ihrer Verteilung auf das Jahr. 1956 konzentrierte sich das Maximum auf die Sommermonate Juni bis August. Im Vorjahr dagegen war auch das Frühjahr recht niederschlagsreich.

Greifen wir nun noch den für unsere Seen und vor allem für unsere Fragestellung wichtigen Jahresabschnitt heraus, also etwa die Zeit April bis Oktober, so zeigt es sich, daß das zweite Jahr in dieser Zeitspanne windreicher und vor allem auch

niederschlagsreicher war als das Vorjahr. Auch der Temperaturverlauf zeigt sich im zweiten Jahr wesentlich schwankender. Beginnend mit dem Februar, der $11,2^{\circ}$ unter dem langjährigen Mittelwert liegt, ist jeder zweite Monat ausgenommen der Dezember kälter, die dazwischen liegenden wärmer, als es das langjährige Jahresmittel erwarten läßt. Im Vorjahr dagegen sind die Monate März bis Juni unter dem Durchschnitt, die beiden folgenden gleich, ebenso der September. Auf die Bedeutung dieser Tatsachen wird im späteren Teil der Arbeit noch näher hingewiesen werden.

2. Zu- und Abflußmessungen der Seen.

Die Angaben über die Abflußmengen aus dem Würmsee, gemessen am Pegel in Starnberg, und aus dem Ammersee, gemessen am Pegel in Stegen-Werft, ebenso der Zufluß der Ammer, gemessen in Fischen, wurden mir freundlicherweise von der Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde in München überlassen.

a) Würmsee.

Die Monatsmittel der Abflußmengen aus dem Würmsee (s. Abb. 4) erreichen im Jahre 1955 zwei Spitzen, die erste im April (Schneesmelze) und die größere mit $8 \text{ m}^3/\text{sec.}$ im Juli und August. Von hier an gehen sie stufenweise bis zum Dezemberminimum von $3,66 \text{ m}^3/\text{sec.}$ zurück. Von Februar bis einschließlich April des folgenden Jahres bleiben die Werte mit ca. $4,1 \text{ m}^3/\text{sec.}$ nahezu unverändert. Anschließend beginnen sie im Mai und vor allem Juni zum Jahresmaximum im Juli und August anzusteigen. Danach geht die Wasserführung der Würm wieder zurück, jedoch wesentlich langsamer als ein Jahr zuvor.

b) Ammersee.

Ähnlich wie bei seinem Nachbarsee zeigen auch am Ammersee die Abflußmengen (s. Abb. 5) zwei Maxima im Jahr 1955, wovon das erste in den April fällt und das größere mit $44,4 \text{ m}^3/\text{sec.}$ in den Juli. Anschließend fallen die Werte bis November rasch auf $12,6 \text{ m}^3/\text{sec.}$ Im folgenden Jahr schwankt die Wasserführung der Amper zunächst etwas, läßt aber im März deutlich wieder einen ersten Höchststand erkennen, der zwar nicht so ausgeprägt wie im Vorjahr ist, jedoch gerade wegen der vorausgehenden niederschlagsarmen Zeit im Februar besondere Bedeutung erlangt. Das zweite Maximum wird wieder im Juli erreicht.

c) Zusammenfassung.

Ein Vergleich der Abflußmengen beider Seen, verbunden mit einem Blick auf die Niederschlagsverhältnisse dieses Gebietes, ergeben im großen und ganzen eine Übereinstimmung beider Seen. Die Abflußmengen werden von den Niederschlägen bestimmt. Erstere hinken zwar etwas nach, gleichen aber dafür Niederschlagschwankungen z. B. von Juli 1955 bis September 1955 weitgehend oder im Würmsee sogar völlig aus.

Ein Unterschied jedoch trennt den Ammersee von seinem Nachbarn. Bei ihm stellt sich nämlich unabhängig von den Niederschlägen jedes Frühjahr im März oder April eine erste Spitze in der Wasserabgabe ein. Sie dürfte sich dadurch erklären, daß zu dieser Zeit der See die Schmelzwässer aus dem Gebirge zugeführt bekommt und mehr Wasser abgeben kann. Im April 1955 wurde diese Spitze durch die vermehrten Niederschläge noch weiter verstärkt. Diese Annahme findet ihre

Bestätigung in Abb. 5, die den Zu- und Abfluß des Sees darstellt (vgl. auch Tab. 2 u. 3). Das Einzugsgebiet des Würmsees ist, wie schon erwähnt, heute vom Niederschlagsgebiet der Alpen getrennt und entbehrt somit dieses winterlichen „Wasserspeichers“.

Tabelle 2: Mittlere Wasserführung der Würm, gemessen in m^3/sec am Latenpegel zu Starnberg (zu S. 19)

Monat	m^3/sec	m^3/sec
XI	5,49	4,27
XII	4,44	3,66
I	5,05	3,79
II	5,64	4,15
III	5,38	4,13
IV	7,16	4,12
V	6,81	4,43
VI	5,96	5,97
VII	7,99	7,21
VIII	8,03	7,22
IX	6,54	6,48
X	5,13	5,41
Abflußjahr	1955	1956

Tabelle 3: Mittlere Wasserführung der Amper und Ammer, gemessen in m^3/sec am Schreibpegel Stegen(Werft) und am Pegel zu Fischen (zu S. 19)

Monat	m³/sec	m³/sec	m³/sec	m³/sec
XI	14,2	8,7	22,3	12,6
XII	14,8	12,9	17,4	14,1
I	22,7	13,4	28,9	18,8
II	18,2	8,9	28,5	17,3
III	17,3	22,6	20,2	26,4
IV	29,9	17,9	39,9	23,6
V	21,6	21,1	31,1	24,3
VI	17,7	36,3	22,9	36,4
VII	39,4	21,5	44,4	34,6
VIII	19,9	21,9	37,0	25,0
IX	14,8	21,9	21,4	24,9
X	10,9	15,3	14,9	18,3
Abflußjahr	1955	1956	1955	1956
Ammer			Amper	

Weiterhin sind die relativen Schwankungen in der Abflußmenge beim Würmsee in den beiden Jahren mit etwa 55% wesentlich geringer als am Ammersee mit etwa 75%. Die Erklärung dafür dürfte in dem verschiedenen Verhältnis von Seevolumen und Einzugsgebiet zu suchen sein.

II. Die Serienmessungen an den tiefsten Stellen der Seen

1. Gewinnung des Beobachtungsmaterials.

a) Plan.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, wie einleitend schon dargelegt, den heutigen Trophiezustand von Würm- und Ammersee festzustellen. Dazu war es notwendig in bestimmten, nicht zu weiten Zeiträumen Sauerstoffproben im See zu entnehmen. Dies war oft sehr schwer, da das Wetter dieser beiden Jahre nur selten günstig war. Weiterhin war es schwierig von München aus die Windverhältnisse am See vorauszusagen. Es konnte vorkommen, daß über München Windstille herrschte, während man am See von munterem Wellenschlag begrüßt wurde. Durch diesen Umstand war manche Fahrt zum See vergebens.

Zur Probenentnahme wurde eine Stelle in der Gegend der größten Seetiefe gewählt, da hier die beste Möglichkeit gegeben ist, durch eine Vertikalserie einen weitgehenden Überblick über die Verhältnisse des gesamten Sees zu erhalten. Hier werden auch die lokalen Einflüsse der Ufernähe, wie kleinere Zuflüsse und die Einwirkung von Siedlungen, ausgeschlossen.

Die Sauerstoffproben wurden entnommen aus den Tiefen von: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 80, 100 m und am Seegrund in ca. 127 m. In denselben Tiefen wurden auch die Temperaturmessungen durchgeführt, die zur genauen Beurteilung der Sauerstoffproben nötig waren. Nur in Zeiten der Homothermie wurde die Dichte der Beobachtungspunkte für die Temperaturmessungen etwas gelockert, da es sinnlos wäre, alle Meter die Temperatur zu messen, wenn zuvor bereits innerhalb von 10 m nur eine Temperaturänderung von wenigen $\frac{1}{100}$ Graden zu erwarten ist.

Weitere Ergänzungen zur Auswertung der Sauerstoffergebnisse sollten Sichttiefen-, Härtebestimmungen und pH-Messungen liefern.

b) Instrumente.

Die zu den Untersuchungen nötigen Geräte wurden mir, nebst einem von Dr. F. ZORELL selbst gebauten Boot, freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Dafür möchte ich an dieser Stelle nochmals meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Am Ammersee mußte auch eine transportable Seil- und Ankerwinde mitgenommen werden. Letztere wurde bei späteren Untersuchungen nach Verlust des Ankers mit einem großen Teil des Seiles während eines Sturmes nicht mehr benützt, sondern durch eine Flaschenboje ersetzt, in deren Umgebung das Boot während der Beobachtungen von einer Hilfsperson durch Rudern gehalten wurde.

Eine Beschreibung der einzelnen Geräte würde hier zu weit führen, es sei daher vor allem auf die Arbeiten von F. ZORELL hingewiesen (F. ZORELL 1951 u. 54).

c) Methoden der Beobachtung.

Die Methode der Beobachtung sei kurz am Verlauf eines Beobachtungstages geschildert.

α) Auf dem See:

Nachdem mit Hilfe von Orientierungspunkten am Seeufer die Gegend der größten Seetiefe erreicht war, wurde eine Lotung vorgenommen. War die gewünschte Tiefe in etwa gefunden, so wurde das Boot verankert. Eine nochmalige Lotung ergab dann die genaue Seetiefe der Station, die neben Aufzeichnungen über Wind und Bewölkung ins Feldbuch eingetragen wurde. Danach wurde im Schatten des Bootes mit einem einfachen Hg-Thermometer die Luft- und anschließend die Oberflächentemperatur des Wassers gemessen. Die 1° -Einteilung des Thermometers erlaubte das Abschätzen von $\frac{1}{10}$ Graden.

Diesen allgemein orientierenden Eintragungen ins Feldbuch folgten nun die Temperaturmessungen. Die erste Messung wurde dicht über dem Seegrund vorgenommen. Dazu mußte das Thermometer 5 Min. in Normallage verbleiben, da sich das ganze Gerät und die große Quecksilbermasse des Thermometers von den hohen Temperaturen im Rucksack erst an die dortigen tiefen Wassertemperaturen angleichen mußte. Für die folgenden Messungen genügten 3 Min., da die Temperaturunterschiede im See längst nicht so groß sind und das Thermometer nur allmählich in wärmere Wasserschichten gebracht wird. Nach Ablauf dieser Zeit wurde das Thermometer durch ein Fallgewicht gekippt und schnell zur Seeoberfläche zurückgeholt. Rasch wurde nun die Temperatur des Haupt- und Nebenthermometers abgelesen und ins Feldbuch eingetragen. Sogleich erfolgte dann die nächste Messung. So wurde der Jahreszeit entsprechend ein dichteres oder etwas gelockertes Vertikalprofil des Sees erhalten.

Den Temperaturmessungen folgte die Entnahme von Wasserproben mit dem Ruttner-Schöpfer (s. Abb. 6 Ruttner 1913) aus denselben Tiefen. Hatte der Schöpfer die gewünschte Tiefe erreicht, so wurde er durch ein Fallgewicht geschlossen und zur Oberfläche zurück-

geholt. Anschließend entnahm ich in ein geeichtes 100 ccm Fläschchen mit Schliffstopfen eine Probe. Dabei verhinderte ein am Hahn des Schöpfers angebrachter Gummischlauch, der bis zum Boden des Fläschchens reichte, eine Durchmischung des Wassers mit Luft während des Abfüllens. Die entnommene Probe wurde anschließend zur Fixierung des Sauerstoffs sofort mit je 1 ccm Manganchlorid (MnCl_2) und Jod-Kali-Natronlauge ($\text{KJ} + \text{NaOH}$) versetzt. — Diese Maßnahme ist nötig, da sich mit Druck- oder Temperaturänderungen während des Transportes auch der Sauerstoffgehalt ändern kann. Ebenso können im Wasser enthaltene Organismen eine Änderung verursachen. — Es bildete sich dabei ein, der vorhandenen Sauerstoffmenge entsprechend, intensiv gefärbter, brauner Niederschlag von Manganhydroxyd. Nun wurde das Fläschchen verschlossen, gut durchgeschüttelt und in den dazu bestimmten Tragkoffer gestellt.

Die Wasserproben zur Härte- und pH-Bestimmung wurden in $\frac{1}{2}$ -l-Kunststoffflaschen gefüllt. Diese bewährten sich besser als die anfangs verwendeten Bierflaschen wegen des wesentlich geringeren Gewichtes und des zuverlässigeren Schraubverschlusses. Zum Abschluß der Beobachtungen wurden noch eine Sichttiefenbestimmung durchgeführt und wieder die Luft- und Oberflächentemperatur des Wassers gemessen.

β) Im Laboratorium:

Im Laboratorium wurde nach der von WINKLER bereits 1888 entwickelten Methode, die noch heute ihrer Einfachheit und Genauigkeit wegen verwendet wird (G. J. WERESZAGIN 1931), die Sauerstoffbestimmung vorgenommen. Die Gesamthärte wurde nach der Schnellbestimmungsmethode mit Titriplex-B-Lösung von Merck festgestellt. Die Karbonathärte wurde durch Titration gegen Methylorange ermittelt (s. LUNGE 1885). Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte nach der kolorimetrischen Methode. Sie beruht darauf, daß das zu prüfende Wasser mit einem Indikator versetzt wird, der eine der jeweiligen Wasserstoffionenkonzentration entsprechende Färbung annimmt. Diese Farbe kann im Kolorimeter mit einer Farbscheibe verglichen werden und so der pH-Wert des Wassers festgestellt werden.

d) Die beobachteten Faktoren (zur Theorie).

α) Thermik:

Seit E. RICHTER (1891) in seinen therm. Beobachtungen über die Alpenseen genauere Untersuchungen über die Sprungschicht, die auch von ihm ihren Namen hat, anstellte und damit erstmals einen Hauptcharakterzug im Temperaturgeschehen der Seen genauer erforschte, hat die Thermik bis heute in den die Seenforschung interessierenden physikalischen Verhältnissen ihre Vorrangstellung behauptet. Diese Tatsache wird auch dadurch unterstrichen, daß bereits FOREL (1901) in seinem Handbuch der Seenkunde die Seen der Erde auf Grund ihres thermischen Verhaltens in drei Gruppen einteilte. Diese Einteilung hat bis heute ihre Gültigkeit behalten, wenn sie auch von RUTTNER (1940) durch einen vierten Typ ergänzt wurde, wodurch sich eine Unklarheit in der Forelschen Definition behob. Nach beiden Einteilungen gehören unsere Alpenvorlandseen dem temperierten Typus an. FOREL versteht darunter Seen, deren Temperatur im Sommer über und im Winter unter der Temperatur des Dichtemaximums liegt.

Der Temperaturgang in diesen Seen vollzieht sich in einem Jahr ungefähr folgendermaßen: Bald nach dem Verschwinden der Eisdecke im Frühling herrscht in unseren Obb. Seen von der Oberfläche bis zum Seegrund in der ganzen Wassermasse eine einheitliche Temperatur, die nahe dem Dichtemaximum des Wassers, also 4°C , liegt. Wir nennen diesen Zustand des Sees den der „Homothermie“. Gleichzeitig sprechen wir auch von einer instabilen Schichtung des Seewassers, d. h., es bestehen während dieser Zeit keine

Unterschiede zwischen dem Wasser der Oberfläche und dem der Tiefe hinsichtlich der Dichte und Viskosität. Das bedeutet, daß der Wind ohne großen Kraftaufwand in der Lage ist, das Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche und von dort in die Tiefe zu bewegen. Der See befindet sich im Stadium der Frühjahrsvollzirkulation. Da nun im Frühjahr mit zunehmender Sonneneinstrahlung die Seeoberfläche sich langsam zu erwärmen beginnt, gelangt mechanisch durch die Zirkulation auch wärmeres Wasser bis zum Grund, was eine langsame Temperaturerhöhung dort zur Folge hat. Bald jedoch wird die Erwärmung des Oberflächenwassers größer, und mit steigender Temperatur wächst auch der Dichteunterschied zwischen dem Oberflächenwasser und dem darunter liegenden kälteren. Die Einstrahlung ist jetzt größer als die Ausstrahlung ($E > A$). Jetzt ist es auch starken Winden nicht mehr möglich, das gesamte Seewasser zu durchmischen. Es haben sich zwei Stockwerke herausgebildet, ein warmes oben und ein kaltes darunter. Beide Stockwerke werden durch eine oft sehr dünne Zwischenschicht, innerhalb deren ein starkes Temperaturgefälle auftritt, getrennt. Diese Schicht nennen wir nach E. RICHTER „Sprungschicht“, da sich hier die Temperatur in vertikaler Richtung sprunghaft ändert. Man hat diesen Schichten in der Seenkunde noch besondere Namen gegeben. Die oberste warme Schicht mit geringen Temperaturunterschieden heißt Epilimnium, der Bereich der Sprungschicht Metalimnium und die kalte Tiefenzone mit schwachen Temperaturunterschieden Hypolimnium. FOREL nennt diesen Zustand der Seeschichtung Stratification directe, denn jetzt lagert wärmeres Wasser mit geringerer Dichte über kälterem, schwererem. Ein Austausch zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser ist nicht mehr möglich. Der See befindet sich in Sommerstagnation.

Gleichzeitig während an der Oberfläche die Temperatur im Verlauf des Sommers steigt, beginnt die Sprungschicht vor allem in kühlen und windreichen Sommern tiefer zu wandern, sonst meist erst im Herbst. Daran ist hauptsächlich der Wind beteiligt, der die Wassermassen des Epilimniums immer wieder mehr oder weniger tief durchmischt. Nach ULE (1923) ist er jedoch nicht die einzige Ursache, sondern wird wesentlich durch vertikale Ausgleichsströme unterstützt, die vor allem in strahlungsreicheren, klaren Nächten intensiv entwickelt sind. Diese Strömungen erklären das Tieferwandern der Sprungschicht in längeren, windstillen Zeitabschnitten. RICHTER hielt sie einst sogar für die alleinige Ursache der Bildung einer Sprungschicht, und sie ist es auch in völlig windgeschützten Hochalpenseen.

Mit sinkendem Sonnenstand und länger werdenden Nächten beginnt die Wärmeausstrahlung die Erwärmung zu überwiegen ($E < A$). Im Epilimnium verschwindet die vertikale Zunahme der Temperatur. Es gerät durch Vertikalströmungen und durch Wind in Bewegung, während Meta- und Hypolimnium noch unbeeinflusst bleiben. Der See ist nun in den Zustand der Sommerteilzirkulation getreten. Es herrscht jetzt bis zur Sprungschicht Homothermie. Langsam sinkt die Temperatur des Epilimniums weiter. Die Temperaturspannung der Sprungschicht wird immer geringer und damit die der Dichte, da im Süßwasser die Dichte eine Funktion der Temperatur ist $\delta = f(t^\circ)$. Gleichzeitig wird die Sprungschicht immer mehr nach unten gedrängt. Im Laufe des Herbstes und Spätherbstes nähert sich die Temperatur des Epilimniums mehr und mehr der des Hypolimniums. Die Sprungschicht liegt sehr tief und ist verschwindend klein geworden.

Jetzt, nachdem die Dichteunterschiede der einzelnen Schichten nahezu aufgehoben sind, genügt ein heftiger Sturm, um die ganze Wassermasse des Sees zu durchmischen. Damit hat er den Zustand der Herbstvollzirkulation erreicht. Nun wird in die an der Oberfläche angreifende Abkühlung die gesamte Wassermasse einbezogen. Meistens wird dieses Stadium von unseren Obb. Seen im Dezember erreicht. Die Dauer der Herbstzirkulation hängt davon ab, ob das Wetter während dieser Zeit ruhig oder sehr windreich ist. In letzterem Falle kann sich das ganze Seewasser beträchtlich unter 4°C abkühlen, da in diesem Temperaturbereich die Dichteunterschiede sehr gering sind und schon von mäßigen Winden überwunden werden können. Tritt jedoch dann ruhiges Wetter ein, so bleibt das kältere Wasser infolge seiner geringeren Dichte an der Oberfläche. Wir haben nun die verkehrte Schichtung oder wie FOREL sie nennt die „Stratification inverse“. Jetzt

genügt eine ruhige, kalte und klare Winternacht, und der ganze See hat sich mit einer dünnen Eisdecke überzogen. Diese nimmt dann in den folgenden Nächten an Stärke zu. Die vertikale Wasserbewegung im See ist zur Ruhe gekommen. Der See befindet sich in Winterstagnation. Sie dauert so lange, bis im Frühjahr die Eisdecke schmilzt und die Frühjahrszirkulation wieder beginnt.

Die Tatsache, daß der Temperaturgang eines Sees in jedem Jahr etwas verschiedenen ist, leuchtet sofort ein, denn er wird ja ausschließlich vom Wetterablauf der einzelnen Jahre bestimmt. So überzieht sich der Würmsee z. B. nicht alle Jahre mit einer Eisdecke, ja er wird von REISSINGER-HERPICH sogar als der am seltensten gefrierende Obb. See bezeichnet. Während meiner Beobachtungszeit dagegen war er fast den ganzen Februar 1956 mit einer dicken Eisschicht überzogen. Weiterhin erreichten die Sommertemperaturen längst nicht so hohe Werte, wie sie AMMAN im Sommer 1911 feststellte. Dies zeigt deutlich, daß für die Beurteilung des Temperaturverhaltens eines Sees systematische Beobachtungen, die sich über viele Jahre erstrecken, nötig sind. In einfachen Seen genügt dabei zum Überblick eine Messung in der Gegend der tiefsten Seestelle. Zu genaueren Untersuchungen ist es natürlich nötig, wie z. B. die Schliersee-Arbeit von F. WILHELM (1958) zeigt, an verschiedenen Seestellen Beobachtungsreihen durchzuführen.

β) Sichttiefen:

Seit langem war bekannt, daß das Wasser der einzelnen Seen neben seiner verschiedenen Farbe auch von unterschiedlicher Durchsichtigkeit ist. Um diese zu bestimmen, versenkt man einen hellen, vom Tageslicht beleuchteten Gegenstand (weiße Scheibe) im Wasser und bestimmt die Tiefe, bei der er dem Auge des Beobachters entwindet. Die ersten derartigen Versuche wurden von Graf XAVIER DE MAISTRE 1832 im Golf von Neapel angestellt. Von I. R. LORENZ RITTER VON LIBURNAU (1863) wurden ähnliche Versuche unternommen, und er war es auch, der das „Scheibensystem“ in größerem Maßstab auf Seen anwandte. Vielfach wird heute der Ausdruck „Secchi-Scheibe“ gebraucht, benannt nach Pater SECCHI, der einige Jahre nach LORENZ große Scheiben (bis 2,37 m) bei Forschungen im Mittelländischen Meer verwendete. Heute werden im allgemeinen in der Seenforschung Scheiben von 30 cm Durchmesser verwendet.

Über die Gründe, die die Scheibe zum Verschwinden bringen, herrscht unter den Forschern noch eine verschiedene Meinung. So führt VON AUFESESS (1905) drei Gründe an: die Absorption durch gelöste (gefärbte) Stoffe, die Verschleierung durch schwebende Partikelchen organischer oder anorganischer Natur und als drittes das psychophysische Grundgesetz von FECHNER.

Nach THIENEMANN (1933) wird die Sichttiefe neben dem Plankton vor allem durch Konvektionsströmungen beeinflusst; RUTTNER (1940) führt für das Verschwinden der Scheibe zwei Gründe an: Absorption und Zerstreuung durch Trübung. Diese Meinung wird auch von FOREL (1901) vertreten. Er lehnt die Refraktionstheorie ab, führt dagegen als neuen Einfluß die Farbe des Seewassers an, was ULE (1925) wieder bezweifelt und mit einem Beispiel widerlegt.

Wenn auch die angeführten Gründe noch nicht restlos geklärt sind, so schränkt diese Tatsache den Wert der Sichttiefenbestimmungen für diese Arbeit nicht ein, da für die Fragestellung nach dem Trophiezustand nur biologische Faktoren in Frage kommen, d. h., wenn sich in letzter Zeit die Sichttiefe des Würmsees geändert hat, so können daran in der Hauptsache nur biologische Faktoren schuld sein, denn alle übrigen wie Seefarbe, Niederschläge usw. haben sich kaum wesentlich verändert.

γ) Sauerstoff:

Schon lange wußte man, daß neben Lösungen von Salzen auch Gase im Wasser vorhanden sind. Das wichtigste davon dürfte die Luft und hiervon wieder der Sauerstoff sein, der sich im Wasser doppelt so gut löst wie Stickstoff. Die im Wasser enthaltene Luft enthält also ein Drittel Sauerstoff, während die atmosphärische Luft nur ein Fünftel besitzt. Frühzeitig wurden darüber chemische Untersuchungen angestellt. So veröffentlichte im Jahre 1895 F. HOPE-SEYLER seine Untersuchungen über die Verteilung absorbierter Gase im Wasser auf Grund von Untersuchungen am Bodensee. Dabei versuchte er die Beziehung zu den im Wasser lebenden Tieren und Pflanzen zu klären und stellte fest, daß nur an der Oberfläche genügend Sauerstoff vorhanden ist, mit zunehmender Tiefe aber immer weniger als man erwarten sollte. Dieses „Sauerstoffdefizit“ deutete er bereits richtig, wenn er schreibt: „Dieser Verbrauch von Sauerstoff in bestimmter Zeit neben der gleichzeitig gebildeten Kohlensäure gibt das Maß für die Tätigkeit der im Wasser lebenden Organismen“. An diese Arbeit schlossen sich 16 Jahre später BIRGE und JUDAX (1911) an. Dabei sahen sie auf Grund zahlreicher, vergleichender Untersuchungen von nordamerikanischen Seen den Grund für das Auftreten und die wechselnde Größe des Sauerstoffdefizits im tiefen Wasser der Seen in der Quantität der zersetzlichen Substanz, der Höhe der Wassertemperatur und der Größe des Wasservolumens des Hypolimniums: „Also the extent of the oxygen decrease in the lower water is a function of the quantity of decomposable material contributed to this region and of the volume of the water“ (S. 50).

Weiter vervollkommen wurde unser Wissen auf diesem Gebiet durch die Arbeit von THIENEMANN (1915) über die Eifelmaare. Die Reihe der sich anschließenden Arbeiten THIENEMANNs zeigt, welche Bedeutung die Erforschung der Sauerstoffverhältnisse, die zu einer neuen Seetypenlehre führte, damals bereits gewonnen hatte. GROTE (1934) sieht in THIENEMANN den Begründer dieser neuen Lehre, wenn er schreibt: „Es ist das große Verdienst THIENEMANNs, daß er diese Beziehung in ihrer ganzen Tragweite erkannte und auf die Seetypenlehre anwandte“ (S. 16). Weiter schreibt er: „Es gibt keinen anderen Faktor, der so das Gesamtleben im See charakterisierte, also einen derart natürlichen Indikator und Klassifikationsparameter für die gesamte Seetypenlehre darstellte wie die wechselnden Sauerstoffschichtungsverhältnisse. Wollen wir die Diagnose stellen auf die Typenzugehörigkeit eines Gewässers, kommen wir nicht vorbei an ihrem charakteristischen Symptom, dem Sauerstoffgehalt.“ An anderer Stelle heißt es: „Der See wird also seinem natürlichen Gepräge nach nicht durch den Nährstoffgehalt, sondern durch die Intensität des Stoffkreislaufes charakterisiert, dessen Indikator der Sauerstoff ist“ (S. 41).

Von THIENEMANN stammt auch die erste Einteilung der Seen auf Grund ihrer Sauerstoffverhältnisse. Er unterscheidet den subalpinen Typ (heute oligotroph genannt), der in seinem Altersstadium in den baltischen (eutrophen) Typ übergeht. Daneben steht der Humussee² (dystropher Typ).

Wenn wir bei den beiden ersteren den Jahresablauf im Sauerstoffgeschehen betrachten, so müssen wir zunächst unterscheiden zwischen Sauerstoffaufnahme und -zehrung. Die Sauerstoffaufnahme erfolgt vor allem durch den Kontakt der Seeoberfläche mit der Atmosphäre. Weiterhin kommt als Sauerstoffquelle die Assimilationstätigkeit der Pflanzen in Betracht.¹ Verbraucht wird der im Wasser gelöste Sauerstoff durch die Atmung der Tierwelt, durch Dissimilation und durch Oxy-

lationsvorgänge, die den Abbau toter, organischer Substanz begleiten. Je nach der Menge des von der Oberfläche bis zum Grund vorgefundenen Sauerstoffes reihen wir dann den See in die Gruppe der oligotrophen oder eutrophen Seen ein.

Der oligotrophe See entspricht etwa dem Urzustand aller Seen. Er ist noch relativ lebensarm. Sein Wasser ist klar und durchsichtig und zeigt wenig sauerstoffchrende Vorgänge. Heute wird dieser Seetyp meist von tiefen Seen vertreten. Das Wasser dieser Seen zeigt in den verschiedenen Tiefen das ganze Jahr über wenig Unterschied in bezug auf die Sauerstoffverteilung. In den oberflächennahen Schichten ist es meist ungefähr sauerstoffgesättigt. Im Hypolimnium ist ebenfalls noch reichlich Sauerstoff vorhanden, wenigstens 70% der Sättigung. Die Hauptänderungen im Sauerstoffgehalt des oligotrophen Sees werden durch die Temperatur verursacht, denn kaltes Wasser kann mehr Sauerstoff lösen als warmes.

Der eutrophe See ist bereits „gealtert“. Er beherbergt reichhaltiges Leben, ist im allgemeinen flacher und hat weniger klares Wasser wie sein Vorgänger. Im Frühjahr gleichen seine Sauerstoffverhältnisse weitgehend denen des oligotrophen Sees; das Wasser ist in allen Tiefen reich mit Sauerstoff beladen. Mit beginnender Sommerstagnation zeigen sich jedoch sehr bald merkliche Unterschiede. Das Epi- und oft auch das Metalimnium zeigen Sauerstoffübersättigung infolge der Tätigkeit des Phytoplanktons. Darunter, also im Hypolimnium, werden die Sauerstoffvorräte mit fortschreitender Jahreszeit immer kleiner. Sie werden aufgezehrt durch die Zersetzung der zu Boden sinkenden, abgestorbenen, organischen Reste. Vor allem in den unteren Schichten des Hypolimniums kann der Sauerstoffvorrat bald auf Null sinken und später sogar das ganze Hypolimnium sauerstofffrei werden. Am Grund bildet sich dann Schwefelwasserstoff, ein Endprodukt der sauerstofffreien Zersetzung.

Bei den in der Natur vorkommenden Seen sind die geschilderten Seetypen selten rein ausgeprägt, vielmehr zeigen sich allerlei Übergänge und Abweichungen. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, daß ein See geologisch gedacht ein ephemeres Gebilde ist. Unsere Alpenvorlandseen stammen meist aus der Eiszeit und durchlaufen nun ihre verschiedenen Stadien vom oligotrophen über den eutrophen See zum Weiher und Sumpf, um schließlich ganz zu erlöschen. Dieser natürliche Alterungsvorgang, der sich gewöhnlich über Jahrtausende erstreckt, wird heute durch Zivilisationseinflüsse gestört (künstliche Seedingung), die oft zu sprunghaften Änderungen des Trophiezustandes eines Sees führen. Ein sehr eindringliches Beispiel dafür liefert uns das Schicksal des Zürichsees in den letzten 70 Jahren, das uns MINDER in seinen Arbeiten ausführlich schilderte (1923/34/38/43). Das Schicksal des Zürichsees ist um so bemerkenswerter, als er auf Grund seiner Morphologie eindeutig zu den oligotrophen Typen gehören würde; die Sauerstoffuntersuchungen reihen ihn aber in die Gruppe der eutrophen Seen ein. Wir können also der Ansicht THIENEMANNS (1928, S. 114) nur noch mit Einschränkung zustimmen, wenn er schreibt: „Die oligotrophen Seen haben eine Maximaltiefe zwischen 188,4 und 54 m, die eutrophen zwischen 40,2 und 20,1 m; die Grenze liegt also bei 50 m.“ Die Richtigkeit dieser Einschränkung wird sich auch beim Würmsee zeigen sowie beim Ammersee.

δ) Wasserhärte (Karbonathärte):

„Die Reaktion des Wassers gehört zu jenen Umweltbedingungen, welche die Zusammensetzung der Biozönosen und ihr Lebensgetriebe sehr auffällig lenken; daher gewinnt der Bikarbonatgehalt durch seinen Einfluß auf diese Eigenschaft (ganz abgesehen von seinem Wert als Quelle des wichtigsten Nährstoffes) eine

überragende Bedeutung für viele Probleme der Limnologie“ (RUTTNER 1940, S. 51).

Der Gehalt eines Wassers an doppelkohlensaurem Kalk wird durch zwei Faktoren bestimmt: vom Kalkgehalt des Untergrundes und vom Kohlensäuregehalt des Wassers. Da Kalk fast überall verbreitet ist, kommt der Kohlensäure die ausschlaggebende Bedeutung zu. Letztere bestimmt durch ihren Überschuß als aggressive Kohlensäure oder durch ihr Fehlen, wenn sie von den Pflanzen verbraucht wurde, die Anreicherung oder Verarmung des Wassers mit Bikarbonat. Weiterhin ist das Bikarbonat in Vereinigung mit der Kohlensäure in seiner Eigenschaft als Puffer oder Regulator vor allem für die Pflanzen von ausschlaggebender Bedeutung, die sehr empfindlich auf pH-Schwankungen reagieren.

Die Bestimmung des Bikarbonatgehaltes war in dieser Arbeit von Bedeutung wegen seiner engen Verbundenheit mit dem Kohlendioxyd, dem zweitwichtigsten vom Wasser absorbierten Luftgas neben Sauerstoff. Bekanntlich greifen die Pflanzen beim Assimilationsvorgang in zweifacher Weise in den Stoffhaushalt der Gewässer ein. Dabei verhält sich die Kohlensäure genau entgegengesetzt dem Sauerstoff. In Wassertiefen, die eine Sauerstoffübersättigung zeigen, muß also ein Mangel an Kohlendioxyd bestehen. Das Verteilungsbild würde also genau umgekehrt dem des Sauerstoffs sein. Leider war es aus verschiedenen technischen Gründen nicht möglich, den Kohlensäuregehalt der Wasserproben zu bestimmen. Es muß also aus dem Bikarbonatgehalt des Wassers auf die Kohlensäureverhältnisse geschlossen werden, wobei eine Bikarbonatzunahme auf Kohlendioxydanreicherung und eine Verarmung von Bikarbonat auf Kohlendioxydabnahme schließen läßt. Die jahreszeitlichen Veränderungen ergeben zwar keine so großen Schwankungen, wie es vermutlich bei der Kohlensäure der Fall gewesen wäre, andererseits sind dafür wieder sehr kurzlebige Schwankungen, wie sie bei den Kohlensäureverhältnissen durchaus möglich sind, bei der Karbonathärte wesentlich unwahrscheinlicher. Diese stellt nämlich bereits wieder die Ursache letzterer dar, also etwa den Mittelwert der kurzzeitigen Schwankungen.

Wenn wir den Jahresgang betrachten, so zeigt sich im Frühjahr nach der Eisschmelze z. Z. der Frühjahrszirkulation ein annähernd gleicher Gehalt an Kohlendioxyd und damit auch an Bikarbonat in allen Wassertiefen. Sobald aber die Schichtungsverhältnisse des Sees stabil werden und sich das pflanzliche Leben zu regen beginnt, wird von den submersen Uferpflanzen und den Algen des Planktons innerhalb der durchleuchteten Schicht am Tage CO_2 bzw. HCO_3 verbraucht. Die Folgen davon sind eine Abnahme des freien CO_2 und des Gehaltes an Bikarbonat und Ausfällung von CaCO_3 , außerdem eine Verschiebung des pH-Wertes nach der alkalischen Seite. In der Nacht wird zwar von Pflanzen und Tieren bei der Atmung CO_2 abgegeben, doch überwiegt die CO_2 -Zehrung die nächtliche Produktion, so daß die Gesamtbilanz des CO_2 negativ bleibt. Die Folge davon ist eine langsame Abnahme des Bikarbonatgehaltes des Epilimniums im Laufe des Sommers. MINDER spricht von einer biogenen Entkalkung.

Da aber mit steigenden Wassertemperaturen die Lösungsfähigkeit des Wassers für CO_2 und damit auch für Bikarbonat zurückgeht, ist die Verarmung des Epilimniums an Bikarbonat auch physikalisch bedingt. Diese physikalisch verursachte Änderung tritt jedoch nach RUTTNER (1940, S. 55) völlig zurück gegenüber der biogenen.

Anders verhält es sich in der Tiefenzone des Sees. Hier werden physikalische Veränderungen weitgehend ausgeschlossen. Im Laufe des Sommers sinken die abgestorbenen Organismen der trophogenen Schicht langsam unter Zersetzung zum Secgrund ab. Dabei wird Sauerstoff verbraucht und neben anderen Gasen vor allem Kohlendioxyd frei. Dieses kann auch bei Überschuß nicht an die Atmosphäre abgegeben werden, sondern bleibt im

Hypolimnium und befähigt es, das aus der trophogenen Schicht ausgefällte und zu Boden sinkende CaCO_3 als $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ wieder zu lösen. Es leuchtet ein, daß dieser Vorgang mit zunehmender Seetiefe stark beeinträchtigt wird, was vor allem bei der Beurteilung so tiefer Seen, wie es der Würmsee ist, berücksichtigt werden muß. Der Bikarbonatgehalt wird im Hypolimnium den Sommer über langsam ansteigen.

Die Herbstzirkulation des Seewassers verwischt all diese Unterschiede sehr bald, und wir haben wieder die gleichen Verhältnisse wie nach der Frühjahrszirkulation, von denen wir ausgegangen sind.

ε) Wasserhärte (Gesamthärte):

Die Gesamthärte des Wassers wird durch alle Salze der Erdalkalien bedingt und setzt sich zusammen aus der Karbonathärte, die auch transitorische oder temporäre Härte genannt wird, da sie durch Kochen beseitigt werden kann, und aus der Nichtkarbonathärte, auch bleibende oder permanente genannt. Letztere verschwindet beim Kochen des Wassers nicht. Sie ergibt sich aus den schwefel-, salz-, salpeter-, phosphor- und kiesel-sauren Salzen der Erdalkalien. Experimentell wird sie nicht bestimmt, sondern aus Karbonat und Gesamthärte errechnet.

ζ) pH-Werte:

Der pH-Wert gibt die Wasserstoffionenkonzentration eines Wassers und damit seine saure, neutrale oder basische Reaktion an. Ganz reines Wasser reagiert meist sauer, da es Kohlensäure, aus der Luft gelöst, enthält. So hat nach RUTTNER (1940 S. 52) destilliertes Wasser oder Regenwasser meist einen pH-Wert von 4 bis 5. Anders verhält es sich aber bei den meisten natürlichen Gewässern, die Bikarbonat gelöst enthalten. Hier bestimmt die Dissoziation der Kohlensäure und die Hydrolyse des Bikarbonates die Reaktion des Wassers. Da nun die Hydrolyse des Bikarbonates überwiegt, ergibt sich eine alkalische Reaktion, die nach RUTTNER (1940 S. 52) für Seen mit normalem Kalkgehalt zwischen pH 7 und 9 schwankt.

Die Ermittlung der pH-Werte war aus zwei Gründen für diese Arbeit von Bedeutung. Der Neutralpunkt, also $\text{pH} = 7$, bewirkt innerhalb der Biozönosen eine scharfe Scheidung, da viele Organismen nur im sauren oder basischen Bereich vorkommen. Darauf wurde bereits bei der Bestimmung des Bikarbonatgehaltes hingewiesen, der auf Grund seiner „Puffereigenschaft“ die Schwankungen des pH-Wertes bestimmt. Die enge Verbindung der pH-Werte mit dem Karbonatgehalt des Wassers verknüpft diese aber wiederum eng mit der Kohlensäure, in dem Sinne, als ein Maximum der freien Kohlensäure einem Minimum des pH-Wertes entspricht und umgekehrt. Es kann also auch aus den pH-Schwankungen auf Anreicherung und Verarmung des Wassers mit Kohlensäure geschlossen werden.

η) Reduktion und Berechnung.

α) Temperatur:

Aus den auf See abgelesenen Temperaturen vom Haupt- und Nebenthermometer wurde zu Hause folgendermaßen die wirkliche Temperatur des Wassers berechnet. Mit Hilfe einer Tabelle wurde zunächst die im Thermometer begründete Temperaturkorrektur, verursacht durch eine ungenaue Skala oder Kapillare, ausgeführt. Nun ist zwar die Temperaturablesung richtig, doch gibt T noch nicht die wirkliche Wassertemperatur an, denn während das Thermometer durch wärmere Wasserbereiche emporgeholt wird, hat sich der abgerissene Hg-Faden noch etwas ausgedehnt. Diese Ausdehnung wurde durch eine Temperaturerhöhung verursacht, die aus der Differenz von Haupt- und Nebenthermo-

meter ($T - t$) hervorgeht. Mit Hilfe einer Tabelle (s. A. SCHUMACHER 1933 und H. MAURER 1933) kann nun die Korrektur berechnet werden, die im Hauptthermometer vorgenommen werden muß, um die wirkliche Wassertemperatur zu erhalten. Diese Berechnungen wurden in $1/100$ Graden durchgeführt. Wenn in der vorliegenden Arbeit dennoch fast nur $1/10$ Grade (ausgen.: Hypolimnium) berücksichtigt werden, wie es auch nahezu in der gesamten Literatur der Fall ist, so mögen folgende Überlegungen dies noch näher erläutern:

Zunächst ist zu unterscheiden zwischen Meß- und Ablesegenauigkeit. Mit dem verwendeten Umkippthermometer kann zwar die Wassertemperatur auf $1/100$ Grad genau gemessen werden. Aber die Skala besitzt nur eine Einteilung von $1/10$ Graden, also müssen die $1/100$ Grade geschätzt werden. Diese Schätzung ist nicht immer richtig.

Der zweite Grund liegt in der Messung selbst. Die Hg-Maße des Thermometers sind etwa 5 cm lang. Wird nun eine Temperaturabnahme von $3^\circ/\text{m}$ angenommen, so beträgt die Abnahme bei 5 cm bereits $0,15 \text{ Grad} = 15/100 \text{ Grade!}$ Aus diesem Wert erhalte ich nun bereits das Mittel. Weiter ist noch zu bedenken, daß bei der Temperaturmessung die Tiefe nie auf den dm oder gar cm genau erreicht wird, denn nur sehr selten herrscht auf dem See für längere Zeit völlige Windstille. Aber auch dann wird durch eine Bewegung des Boot bereits zum Schaukeln gebracht.

Dies alles zeigt, daß die Temperaturwerte doch immer mehr oder weniger Mittelwerte aus einer gewissen Tiefe sind und es würde wohl kaum entsprechen, diese Mittelwerte auf $1/100^\circ$ genau anzugeben.

β) Sauerstoff:

Aus den bei der Titration des Sauerstoffs verbrauchten Mengen $n/50$ Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) wurde folgenderweise der Sauerstoffgehalt in mg/Ltr. der Wasserproben berechnet:

Die verbrauchten ccm Thiosulfat werden zunächst mit dem jeweiligen Titer multipliziert (der Titer jeder $n/50$ -Natriumthiosulfatlösung mußte immer wieder neu bestimmt werden, da dieser sehr unbeständig ist). Weiter wird mit dem Atomgewicht des Sauerstoffs multipliziert. Um das Ergebnis auf 1 l Wasser umzurechnen, wird noch mit 1000 multipliziert und durch den Flascheninhalt dividiert. Letzterer ist bei keiner der Flaschen gleich und mußte daher für jede einzelne eigens festgestellt werden. Das Ergebnis sagt dann, wieviel mg O_2 in dem Liter der Wasserprobe enthalten sind (s. Tab. 5 u. 6).

Bekanntlich kann nun aber Wasser bei verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Sauerstoffmengen lösen. Wird diese Tatsache noch bei der Berechnung berücksichtigt, so ergeben sich sog. Sättigungsprozente, die angeben, wieviel das Wasser von der größtmöglichen Sauerstoffmenge tatsächlich gelöst enthält. Diese Umrechnung erfolgte nach einer Tabelle aus KLUT-OLSZEWSKI (1943). Da letztere aber auf 760 mm Hg berechnet war, mußte sie noch auf den mittleren Barometerstand von 712 mm, der etwa der Höhenlage des Würmsee entspricht, oder 716 mm für den Ammersee umgerechnet werden.

Damit erhalten wir Ergebnisse, die sehr oft die Beurteilung des Sauerstoffhaushaltes erleichtern. Dagegen würden sie jedoch in einzelnen Fällen zu falschen Schlüssen führen, da oft Temperaturänderungen veränderte Sättigungswerte ergeben, während sich der absolute Sauerstoffgehalt nicht geändert hat. In diesen Fällen wird bei der anschließenden Beschreibung der Ergebnisse noch gesondert darauf hingewiesen.

Wenn bei diesen Berechnungen auf die Tatsache, daß Wasser unter steigendem Druck, also mit zunehmender Tiefe, mehr Sauerstoff lösen kann als gleichtempe-

riertes Oberflächenwasser, kein Bezug genommen wurde, so entspricht das durchaus der biologischen Fragestellung, die im Gegensatz zur physikalischen nur danach fragt, wie sich der augenblickliche Sauerstoffgehalt zu dem verhält, der maximal durch Konvektionsströmung, also bei einer Wassertemperatur von 4°, an der Seeoberfläche aufgenommen werden kann.

f) Graphische Darstellung.

Die nach obigen Beschreibungen gewonnenen Ergebnisse wurden zur besseren Übersicht und zur Hervorhebung des Wesentlichen noch graphisch in einem Koordinatensystem dargestellt (s. Abb. 8—13). Zur Darstellung der Temperatur- und O_2 -Kurven wurden keine gesonderten Blätter verwendet, damit der Vergleich beider Ergebnisse nicht unnötig erschwert werde.

Eine andere Art der Temperaturdarstellung bieten die sog. Isoplethen (s. Abb. 14). Dabei wird die Tiefe in der Ordinate abgetragen, in der Abszisse nicht mehr die Temperatur, sondern die Zeit (Monate). Die Temperatur verläuft nun als Kurve (für feste Werte) in diesem Koordinatensystem. Das Diagramm zeigt die Temperaturverhältnisse der ganzen Beobachtungszeit am Würmsee vom Mai 1955 bis November 1956. Es ist also zweimal die Frühjahrserwärmung, Sommerstagnation und Herbstabkühlung dargestellt.

Diese Darstellungsweise bietet somit den Vorteil, daß mit einem Blick das Temperaturverhalten eines Sees in einem größeren Zeitabschnitt überschaut werden kann, während dies auf Grund der oben beschriebenen Kurven viel schwerer möglich ist. So läßt sich z. B. sehr schön das langsame Tieferwandern der Sprungschicht, ausgedrückt durch das Zusammenrücken der Kurven auf engem Raum, verfolgen. Ebenso tritt die Auswirkung der herbstlichen Abkühlung, durch plötzlich senkrecht abziehende Kurven sichtbar gemacht, deutlich in Erscheinung. Ferner ist es möglich, mit Hilfe dieser Darstellung zu jeder Zeit eine Aussage über den Zustand der Wärme irgendeiner Tiefe des Sees zu machen. Ein Nachteil dieser Methode liegt jedoch darin, daß sie in der Exaktheit der Darstellung nicht an die bisher beschriebene heranreicht.

2. Der Würmsee.

a) Diskussion aller Kurven der einzelnen Beobachtungstage.

Die im folgenden zur Diskussion stehenden Kurven sind das Ergebnis von Beobachtungen am Würmsee in der Zeit von Mai 1955 bis November 1956. Als Beobachtungsstation war die Gegend der größten Seetiefe etwa auf der Linie Schloß Seeburg—Tutzing gewählt. Die Gewinnung des Beobachtungsmaterials wurde weiter oben unter B, II, 1, beschrieben. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 4—6 enthalten und in Abb. 8—13 graphisch dargestellt.

1. Beobachtung: Die erste Beobachtung am 12. 5. 1955 ergibt das Bild einer typischen Frühjahrserwärmung, bei der man noch nicht zwischen Epi- und Metalimnium unterscheiden kann. An der Oberfläche hat sich infolge des windstillen Wetters eine Tagessprungschicht gebildet, die etwa einen Meter tief reicht. Darunter steigt die Temperatur bis 2 m sogar wieder etwas an. Es dürfte sich hier um den Rest einer vorübergehenden, oberflächlichen Abkühlung handeln, die von den bei kalter Witterung am Vortage gefallenen Niederschlägen verursacht wurde. Von 2—6 m nehmen die Temperaturen in einer weiteren Sprungschicht verhältnis-

Tabelle 4: Temperaturgang am Würmseer in der Zeit vom 12. 5. 1955 bis
16. 11. 1956 (zu S. 30--50)

Datum Tiefe (m)	12. 5.	2. 6.	17. 6.	9. 7.	23. 7.	20. 8.	12. 9.	25. 9.	12. 10.	30. 10.	12. 11.	26. 11.
0	9,1	11,7	16,3	15,5	20,3	20,6	19,6	18,6	13,3	10,7	9,7	6,9
1	8,06	11,63	14,69	15,38	—	20,40	19,26	16,88	13,29	10,70	9,65	6,88
2	8,15	11,63	14,03	15,23	—	19,74	19,02	16,31	13,29	10,56	9,64	6,88
3	7,84	11,60	13,56	15,09	—	18,99	18,90	16,08	13,29	10,49	9,63	6,88
4	7,44	—	13,08	14,99	—	18,47	18,82	15,87	13,29	10,49	9,60	6,88
5	6,92	11,39	12,42	14,92	—	18,04	18,77	15,78	13,29	10,48	9,59	6,87
6	6,56	—	11,87	14,86	—	17,72	18,73	15,76	13,29	10,47	9,59	6,87
7	6,50	10,80	11,40	14,04	16,00	17,10	18,69	15,68	13,29	10,48	9,59	6,84
8	6,48	—	11,23	12,85	15,12	16,49	16,67	15,61	13,29	10,46	9,59	6,81
10	6,48	9,80	11,00	10,76	13,42	13,33	13,48	15,44	13,29	10,46	9,58	6,81
12,5	6,28	8,73	9,62	9,76	10,63	10,41	10,60	10,35	13,01	10,46	9,58	6,79
15	5,82	7,93	8,87	8,24	8,94	9,06	9,05	8,48	10,26	10,43	9,58	6,76
20	5,18	5,99	8,49	6,46	7,28	7,26	6,96	6,97	7,37	7,76	8,06	6,28
25	4,76	5,38	6,16	6,07	6,38	5,96	6,13	6,14	6,29	6,20	6,19	6,16
30	4,23	5,14	5,50	5,48	5,52	5,35	5,42	5,32	5,67	5,46	5,54	5,80
35	4,76	—	—	5,04	5,09	4,88	4,99	4,94	5,23	5,08	5,07	5,30
40	4,12	4,46	4,95	4,75	4,85	4,65	4,67	4,71	4,74	4,78	4,71	5,07
50	4,05	—	4,55	4,34	4,40	4,35	4,38	4,36	4,35	4,26	4,27	4,68
60	3,99	4,12	4,21	4,24	4,13	4,27	4,25	4,22	4,19	4,11	4,14	4,48
70	4,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	3,96	3,98	4,02	4,05	4,08	4,12	4,14	4,15	4,17	4,16	4,14	4,25
100	3,92	3,97	4,00	4,03	4,01	4,13	4,15	4,08	4,16	4,16	4,16	4,17
Seegr. (m)	3,88 (125,1)	4,13 (115)	3,96 (126)	3,99 (126)	4,03 (121,5)	4,05 (117,5)	4,06 (116,7)	4,06 (125,2)	4,08 (123,2)	4,08 (121,2)	4,10 (126,2)	4,11 (125,4)

Datum Tiefe (m)	20. 12.	15. 1.	21. 3.	24. 4.	14. 5.	27. 5.	8. 7.	21. 7.	9. 8.	4. 9.	18. 9.	9. 10.	16. 11.
0	5,0	4,5	3,1	5,4	8,9	14,5	21,3	19,7	19,6	17,5	16,5	13,9	8,2
1	4,98	4,45	2,84	4,57	8,67	13,05	17,68	—	18,45	17,19	16,47	13,68	8,20
2	4,97	—	2,82	4,13	8,09	11,60	16,69	—	17,89	17,17	16,45	13,62	—
3	—	4,41	2,80	—	7,54	10,78	15,57	—	17,79	17,10	16,39	13,59	8,19
4	—	—	2,80	4,08	7,50	10,08	14,90	—	17,69	17,08	16,09	13,59	—
5	4,97	4,40	2,80	—	7,37	9,39	14,62	—	17,64	17,01	15,99	13,58	8,18
6	—	—	—	—	7,20	7,65	14,46	17,68	17,37	16,89	15,92	13,57	—
7	—	—	2,79	4,01	7,08	6,99	14,26	17,51	17,00	16,81	15,84	13,57	8,18
8	—	—	—	—	6,89	6,56	13,88	17,31	16,29	16,29	15,69	13,56	—
10	4,99	4,40	2,79	4,02	6,48	5,94	12,60	12,94	15,69	13,88	15,09	13,55	8,18
12,5	—	—	—	—	6,31	5,56	8,47	8,43	11,97	10,64	12,58	13,54	8,18
15	—	—	—	—	5,97	5,37	7,54	6,65	8,90	8,27	9,99	13,45	8,18
20	4,99	4,40	2,79	3,97	4,79	4,89	5,54	5,38	6,06	5,93	6,89	7,57	6,24
25	—	—	—	—	4,42	4,68	5,04	4,87	5,25	5,23	5,67	5,88	5,34
30	4,98	—	—	3,97	4,22	4,42	4,73	4,56	4,84	4,81	5,17	5,13	4,88
35	—	—	—	—	4,15	4,28	4,54	4,44	4,49	4,60	4,77	4,69	4,62
40	4,98	4,40	2,96	3,94	4,10	4,22	4,46	4,32	4,34	4,37	4,50	4,49	4,47
50	—	—	—	3,91	4,05	4,11	4,24	4,15	4,22	4,14	4,19	4,26	4,26
60	4,94	4,40	3,06	3,91	3,97	4,01	4,15	4,07	4,07	4,10	4,15	4,16	4,22
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	4,59	4,40	3,13	3,94	3,91	3,95	4,09	4,05	4,06	4,07	4,08	4,16	4,17
100	4,29	4,39	3,26	3,92	3,94	3,94	4,03	4,04	4,05	4,06	4,07	4,13	4,10
Seegr. (m)	4,22 (123)	4,27 (120,2)	3,40 (126,2)	3,84 (124,6)	3,89 (119,6)	3,93 (116,9)	3,99 (125,4)	4,03 (122)	4,04 (121)	4,04 (126)	4,05 (122)	4,04 (124,1)	4,08 (123,3)

Tabelle 5: Werte der Sauerstoffbeobachtungen vom Würmseer für die Zeit vom 12. 5. 1955 bis 20. 12. 1955 (zu S. 30—50)

Datum	12. 5.		2. 6.		17. 6.		9. 7.		23. 7.		20. 8.	
Tiefe (m)	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
0	13,17	121,3	10,93	106,5	11,26	121,3	8,00	84,8	9,79	114,3	11,04	129,6
1	13,16	118,4	10,67	103,9	11,75	122,5	9,29	98,2	9,44	109,2	10,80	126,4
2	14,00	126,2	10,64	103,6	11,77	120,9	9,38	98,7	9,81	110,0	11,09	125,2
3	13,46	120,2	10,74	104,6	11,84	120,6	9,41	98,9	9,71	106,9	11,17	127,2
4	13,52	119,8	10,60	103,0	11,72	118,0	9,37	98,2	9,61	105,1	10,83	122,2
5	13,09	114,0	11,06	107,3	11,46	113,7	9,38	98,2	9,25	100,7	10,45	116,9
6	13,66	118,7	10,91	105,4	11,31	111,0	9,45	98,9	9,80	103,7	10,00	111,0
7	13,94	112,0	11,07	106,3	11,70	113,5	9,58	98,4	9,40	100,6	9,92	108,7
8	—	—	10,89	104,0	11,28	109,0	9,87	99,0	9,17	96,3	9,46	102,4
10	12,91	111,8	11,54	108,1	11,69	112,4	10,10	96,7	9,16	92,9	8,30	84,0
12,5	12,39	106,5	11,87	108,3	11,12	106,0	10,20	95,3	9,42	89,8	8,87	84,2
15	12,58	107,0	11,53	103,2	11,36	104,1	11,02	99,3	9,72	89,1	9,22	84,9
20	12,66	105,7	—	—	11,22	99,6	9,63	83,4	10,14	89,5	9,59	84,6
25	12,05	99,9	11,07	93,2	—	—	10,51	90,1	10,19	88,0	9,91	84,8
30	11,82	96,5	—	—	11,25	95,0	10,46	88,3	10,15	85,7	9,90	83,3
35	—	—	—	—	—	—	10,35	86,2	9,42	78,5	10,31	85,7
40	11,76	95,8	10,76	88,6	11,02	91,8	10,40	86,2	10,11	84,0	10,26	84,8
50	11,96	97,2	11,12	90,5	—	—	10,46	85,6	10,40	85,3	10,52	86,3
60	11,97	97,2	10,86	88,4	11,16	91,1	10,62	86,7	10,64	86,6	10,90	89,2
80	12,05	97,9	11,03	89,6	11,29	91,7	10,75	87,5	10,77	87,7	10,51	85,6
100	11,60	94,0	11,02	89,5	10,78	87,6	10,40	84,5	10,23	83,1	9,63	78,4
Seegr. (m)	11,79	95,5	10,80	87,9	11,23	91,2	9,16	74,4	9,36	76,0	7,43	60,4
	(125,1)		(115)		(126)		(126)		(121,5)		(117,5)	

Datum	12. 9.		25. 9.		12. 10.		30. 10.		12. 11.		26. 11.		20. 12.	
Tiefe (m)	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
0	11,53	133,0	11,35	128,2	10,46	105,8	9,33	89,2	9,94	92,8	10,44	91,3	10,63	88,6
1	10,41	119,2	11,81	128,9	9,74	98,5	9,18	87,7	9,98	93,2	10,10	88,3	10,22	85,2
2	11,77	134,0	11,68	125,8	10,26	103,8	9,42	89,8	10,43	97,1	10,32	90,2	10,35	86,2
3	10,68	121,4	12,02	129,0	10,07	101,9	9,28	90,3	10,02	93,8	10,19	89,1	10,36	86,3
4	10,79	122,4	11,89	127,0	10,02	101,4	9,25	88,0	10,08	93,9	9,98	87,2	10,40	86,7
5	11,20	127,0	11,62	123,9	10,05	101,7	9,14	87,0	10,08	93,9	9,85	86,1	10,31	85,9
6	10,55	119,4	11,17	119,1	10,07	101,9	9,17	87,2	9,97	92,9	10,11	88,4	10,41	86,7
7	10,93	123,7	10,92	116,2	10,11	102,3	9,36	89,0	9,93	92,5	10,24	89,3	11,05	92,1
8	9,48	103,0	10,72	113,9	10,14	102,6	9,15	87,0	9,99	93,1	10,28	89,6	10,41	86,7
10	7,84	79,7	11,38	120,3	10,06	101,8	9,20	87,5	9,92	92,4	10,19	88,9	10,43	86,9
12,5	7,90	75,3	7,48	71,0	9,68	97,3	9,07	86,3	9,72	90,5	10,06	87,7	10,40	86,7
15	8,14	75,0	9,16	83,2	7,56	71,6	9,09	86,2	9,83	91,6	10,20	89,0	10,27	85,6
20	9,25	81,1	8,76	76,8	8,85	78,3	8,55	76,4	7,54	67,9	9,69	83,5	10,36	86,3
25	9,53	81,7	9,35	80,2	9,12	78,6	8,93	76,7	—	—	9,96	85,6	10,27	85,6
30	7,67	81,4	10,27	86,2	9,35	79,3	9,18	77,5	8,44	71,3	9,76	83,0	10,23	85,2
35	10,01	83,4	9,95	82,7	9,77	81,9	9,67	80,8	9,06	75,9	9,07	76,2	10,26	85,5
40	10,31	85,2	10,20	84,3	9,90	81,9	9,54	79,1	9,31	77,0	9,35	78,1	10,21	85,1
50	10,57	86,7	10,60	87,0	10,29	84,4	10,62	86,9	9,38	79,2	9,53	78,8	10,27	85,6
60	10,69	87,5	10,84	88,5	10,45	85,3	10,75	87,5	9,96	81,3	9,54	78,5	10,21	84,9
80	10,25	83,5	10,14	82,8	9,67	79,0	9,88	80,7	9,25	75,5	9,59	78,5	9,58	79,0
100	9,17	74,9	9,08	73,9	8,67	70,8	9,08	74,2	7,75	63,3	8,49	69,3	9,26	75,8
Seegr. (m)	8,18	66,4	5,37	43,7	5,09	41,3	5,50	44,8	4,11	33,5	6,79	55,3	7,86	64,2
	(116,7)		(125,2)		(123,2)		(121,2)		(126,2)		(125,4)		(123)	

Tabelle 6: Werte der Sauerstoffbeobachtungen vom Wurmsee für die Zeit vom
15. 1. 1956 bis 16. 11. 1956 (zu S. 30-50)

Dat.	15. 1.		21. 3.		24. 4.		14. 5.		27. 5.		8. 7.	
	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
Tiefe (m)												
0	9,54	78,5	13,79	109,4	11,69	98,4	11,72	107,4	11,67	121,2	11,38	135,4
1	9,44	77,7	12,40	97,6	11,79	97,3	—	—	12,22	123,1	12,13	134,6
2	9,49	77,9	11,87	93,4	11,87	96,6	11,53	103,8	12,61	122,8	12,48	135,7
3	9,40	77,1	12,10	95,3	11,85	96,5	11,79	104,6	12,68	121,5	12,89	136,9
4	9,47	77,7	11,86	93,4	11,97	97,5	11,60	102,9	12,48	117,7	12,08	126,4
5	9,39	77,0	12,40	97,6	11,98	97,5	11,66	103,2	12,32	114,3	11,88	123,6
6	9,47	77,7	12,33	97,1	11,05	89,8	11,67	102,8	12,26	109,2	11,67	121,2
7	9,48	77,8	12,06	94,9	11,86	96,3	11,71	102,9	11,99	105,1	11,62	120,1
8	9,47	77,7	11,86	93,4	12,04	97,8	11,76	102,8	11,82	102,6	11,33	116,2
10	9,30	76,3	12,06	94,9	11,85	96,3	11,70	101,3	11,59	98,9	11,04	109,9
12,5	—	—	11,85	93,3	11,73	95,3	11,45	98,6	11,39	96,4	10,52	95,6
15	9,44	77,5	12,04	94,8	11,84	96,2	11,41	97,6	11,25	94,7	10,44	92,6
20	9,40	77,1	11,72	92,3	11,69	95,0	11,49	95,2	10,99	91,4	10,31	87,1
25	9,30	76,3	—	—	11,67	94,8	11,28	92,5	11,00	90,9	10,60	88,3
30	9,41	77,2	12,36	97,5	12,06	98,0	10,91	89,1	10,98	90,1	10,54	87,1
35	—	—	—	—	—	—	10,89	88,9	11,01	90,1	10,61	87,3
40	9,43	77,4	11,08	87,7	11,81	95,7	—	—	11,06	90,2	10,50	86,4
50	9,35	76,7	11,60	91,8	11,64	94,3	10,93	89,0	11,00	89,6	10,62	86,7
60	9,37	76,9	11,04	87,4	11,69	94,7	10,82	87,9	10,94	88,9	10,71	87,5
80	9,45	77,5	10,94	86,8	11,75	95,2	10,73	87,2	11,05	89,8	10,56	86,0
100	9,53	78,2	10,87	86,7	11,77	95,4	10,71	86,8	10,80	87,5	9,67	78,6
Seegr.	9,50	77,8	10,65	85,2	10,70	86,5	9,46	76,6	9,62	78,0	7,87	63,9
(m)	(120,2)		(126,2)		(124,6)		(119)		(116,9)		(125,4)	

Dat.	21. 7.		9. 8.		4. 9.		18. 9.		9. 10.		16. 11.	
	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
Tiefe (m)												
0	9,80	113,2	10,22	117,8	9,85	108,8	9,84	106,5	9,36	96,0	9,88	89,1
1	9,95	112,9	10,24	115,5	9,92	108,9	9,89	107,1	9,24	94,3	9,79	88,3
2	9,88	109,9	10,32	115,0	10,01	109,9	9,89	107,1	9,34	95,1	9,78	88,2
3	10,14	112,5	10,20	113,4	10,07	110,5	9,89	106,7	9,50	96,8	9,93	89,5
4	9,82	109,0	9,93	110,2	—	—	9,88	106,0	9,23	94,0	9,77	88,1
5	9,89	109,7	9,80	108,3	—	—	9,85	105,5	9,15	93,2	9,87	89,0
6	9,72	107,9	9,47	104,5	9,85	107,5	9,56	102,1	9,06	92,3	9,80	88,4
7	9,86	108,9	9,17	100,3	9,61	104,7	9,72	103,7	9,32	94,9	9,82	88,5
8	10,12	111,4	8,85	95,3	9,31	100,3	9,31	99,1	9,10	92,7	9,72	87,6
10	9,15	91,8	8,73	92,9	8,12	83,3	8,66	91,0	9,03	92,0	9,84	88,7
12,5	8,97	81,3	8,58	84,3	7,59	72,3	7,45	74,2	9,21	93,6	9,94	89,6
15	9,07	78,9	8,88	81,4	7,83	70,8	7,20	67,7	8,76	89,1	9,81	88,4
20	9,18	77,3	9,18	78,7	8,46	72,2	7,84	68,5	7,48	66,5	7,33	63,6
25	9,11	76,6	9,45	79,4	8,76	73,4	8,59	72,9	8,21	70,1	7,83	65,8
30	9,32	76,9	9,71	80,5	9,01	74,7	8,97	75,2	8,66	72,3	8,34	69,3
35	9,43	77,4	10,11	83,2	—	—	9,26	76,7	9,10	75,2	8,71	71,8
40	9,68	79,2	10,13	82,9	9,48	77,8	9,28	76,4	9,44	77,7	9,07	74,6
50	9,89	80,7	10,51	85,8	9,95	81,0	10,14	82,8	10,01	81,9	9,32	76,3
60	9,93	80,9	10,55	85,9	10,20	83,0	10,12	82,6	9,75	79,6	9,21	75,2
80	9,75	79,4	10,29	83,8	9,79	79,7	9,72	79,1	9,14	74,6	8,89	72,6
100	8,93	72,5	9,54	77,7	8,51	69,3	7,89	64,2	8,03	65,4	7,32	59,6
Seegr.	7,14	58,0	6,89	56,0	(9,02)	(73,3)	(9,98)	(81,3)	5,49	44,6	3,46	28,2
(m)	(122)		(121)		(126)		(122)		(124,1)		(123)	

mäßig rasch ab. Bis 10 m Tiefe bleibt die Temperatur fast konstant, um dann erneut bis in 30 m Tiefe weiter zu sinken. Der Temperaturabfall zwischen 10 und 30 m ist zwar wesentlich gemäßigter, verglichen mit dem Sprung zwischen 2 und 6 m, trotzdem lassen sich auch hier in der Temperaturabnahme mit ihrem wechselnden Gradienten die Andeutungen von drei ehemaligen Sprungschichten nicht verkennen. Unter 30 m sinkt die Temperatur nur noch ganz unmerklich bis zum Seegrund, wo sie etwas unter $3,9^{\circ}$ liegt, also genau dem Dichtemaximum des dort herrschenden Druckes von 12 Atm. entspricht.

Für die Sauerstoffverhältnisse ergibt sich eine ausreichende Sättigung in allen Wasserschichten. Von der Oberfläche bis 10 m Tiefe schwanken die Werte zwischen 13 und 14 mg/l, was einer Übersättigung von etwa 10 bis 20% entspricht. Die Werte gehen dann etwas zurück, bis zu einem Minimum von 12,4 mg in 12,5 m, steigen dann nochmals bis 13 mg an in 17,5 m Tiefe. Von hier an macht sich eine leichte Abnahme bis 30 m bemerkbar. Dann aber bleiben bis zum Grund die Sauerstoffmengen nahezu konstant. Die Sättigung sinkt nirgends unter 94%. Bemerkenswert ist bei diesen Ergebnissen für Temperatur und Sauerstoff noch folgende Übereinstimmung. Der obere Seebereich bis zu einer Tiefe von 30 m läßt in seinem Temperaturverlauf eine häufige Durchmischung erkennen. Dementsprechend treten auch in diesem Bereich eine Reihe von Sauerstoffmaxima auf. Darunter ist die Sauerstoffverteilung im See beinahe linear.

Die Verteilung von Bikarbonat entspricht noch ganz den Frühjahrsverhältnissen. Im ganzen See treten noch keine besonderen Unterschiede auf. An der Oberfläche ist das Wasser mit 7,7 mg/l noch etwas karbonatreicher als das vom Seegrund mit 7,6 mg/l. In 60 m Tiefe zeigt sich ein schwaches Minimum von 7,4 mg/l.

2. Beobachtung: Am 2. 6., also drei Wochen später, hat sich der See in den oberen Schichten bereits beträchtlich erwärmt, während die kalte Tiefenzone nur eine ganz geringe Temperaturzunahme aufweist. Zwischen 35 und 30 m steigt die Temperatur um fast 1° an. Diese Restsprungschicht läßt vermuten, daß der See nach der vorhergehenden Beobachtung vorübergehend auf 5,5° abgekühlt wurde. Bis 25 m herauf ist der Wärmegewinn etwas schwächer, verstärkt sich aber dann wieder, um bis 18 m fast gleichmäßig anzusteigen. Bei 6 m verlangsamt sich der Temperaturanstieg nochmals, und ab 3 m herrscht bis zur Oberfläche fast Homothermie. Der Temperaturverlauf im Epilimnium erinnert mehr an den Spätsommer und wird um diese Jahreszeit eigentlich nicht erwartet. Er dürfte jedoch durch den an diesem Beobachtungstage aufgekommenen starken NW-Wind verursacht sein sowie durch die vorausgehenden, kühleren Tage mit reichlichem Niederschlag.

Für die Sauerstoffverteilung ergeben sich bereits merkliche Änderungen. Vor allem in den obersten Wasserschichten bis etwa 10 m ist der Sauerstoffgehalt stark gesunken. Er liegt jetzt bei oder etwas unter 11 mg, also mehr als 2 mg unter den vorigen Ergebnissen. Trotz der inzwischen angestiegenen Temperaturen liegen die Sättigungswerte bis 15 m nur mehr wenig über 100%. Auch die tieferen Seebereiche zeigen einen merklichen Rückgang des Sauerstoffgehaltes um meist mehr als 1 mg. Nur in 12,5 m Tiefe wird das vorhergehende Minimum jetzt durch ein Maximum von fast 12 mg ersetzt.

3. Beobachtung: Bei der nächsten Beobachtung am 17. 6. hat die Erwärmung der oberen Wasserschichten weitere Fortschritte gemacht. Im Vergleich zu den

beiden ersten Beobachtungen ist vor allem in den tieferen Zonen eine starke Temperaturzunahme auffallend, die sich bis 60 m Tiefe abzeichnet. So hat sich z. B. die Temperatur in 40 m Tiefe um fast 1°C in zwei Wochen erhöht, in 20 m sogar um $1,5^{\circ}$. Der Kuvsverlauf jedoch ist in diesem Bereich ruhiger geworden. Ab 20 m verlangsamt sich der Temperaturanstieg und macht erst in 12 m Tiefe wieder einen kleinen Sprung. Diese Teilsprungschicht dürfte ihre Erklärung finden in den starken Westwinden des 13. Juni, die bei kühler Witterung mit reichlichen Niederschlägen verbunden waren. Die anschließenden, windarmen und zunehmend wärmeren Tage zeigen ihre Wirkung in dem von 7 m bis zur Seeoberfläche sich immer mehr verstärkenden Temperaturanstieg. Am Beobachtungstage z. B. erhöhte sich die Oberflächentemperatur in zwei Stunden um $1,3^{\circ}$. An diesem Tage ergab sich somit eine typische Strahlungskurve.

Der Sauerstoffgehalt zeigt lediglich im epilimnischen Bereich einige Veränderungen. Bis etwa 10 m Tiefe ist leichter Anstieg eingetreten, vor allem zwischen 1 bis 5 m. Hier werden wieder Sättigungswerte von etwa 120% erreicht. Diese prozentuale Zunahme muß jedoch in ihrer Bedeutung etwas eingeschränkt werden, wenn berücksichtigt wird, daß in der Zwischenzeit auch die Temperatur dieses Wasserbereiches gestiegen ist. Die prozentuale Zunahme des Sauerstoffs liegt also etwas über der tatsächlichen. In den tieferen Bereichen hat sich der Sauerstoff nahezu unverändert gehalten, stellenweise sogar unbedeutend erhöht. Gegen den Grund ist die Tendenz leicht steigend, wie bei der ersten Beobachtung.

4. Beobachtung: Wesentlich kühleres Wetter herrschte am 9. 7. Die Lufttemperatur lag etwa 6° tiefer, der Himmel war bedeckt und aus W wehte mäßiger Wind. Dieser kalte Witterungsabschnitt wurde bereits am 4. 7. mit kräftigem Westwind und ergiebigen Niederschlägen eingeleitet. Für die Temperaturverteilung des Sees hat dies zur Folge, daß das bis 7 m Tiefe reichende Epilimnium nur eine Temperaturabnahme von $0,75^{\circ}$ zeigt. Die Oberflächentemperatur änderte sich diesmal in 2 Stunden nur um $+0,1^{\circ}$. Die Grenze zum Metalimnium liegt mit sehr schroffem Temperaturabfall in 7 m Tiefe. Ab 10 m sinkt die Temperatur sogar unter die Werte der letzten Beobachtung und in 18 m Tiefe hat sich der See in den letzten drei Wochen um etwa $1,5^{\circ}$ abgekühlt. Zwischen 25 und 30 m nähern sich die Werte zwar denen der vorausgehenden Beobachtung, sinken dann aber erneut darunter um sie erst bei 55 m endgültig zu erreichen. Von hier aus verlaufen die Temperaturkurven ganz parallel und deuten nur eine kaum merkbare Temperaturzunahme dieser Tiefenzone an. Die Abkühlung im oberen Bereich des Hypolimniums dürfte eine Folge der Zirkulation sein, die durch die starke Wasserbewegung im Epilimnium hervorgerufen wurde. Der See hat mit seiner deutlichen Schichtung in drei Stockwerke (Epi-, Meta- und Hypolimnium) zum ersten Mal sommerliche Verhältnisse erreicht.

Auch für den Sauerstoff ergeben sich im Gegensatz zur letzten Beobachtung beträchtliche Änderungen in allen Bereichen, vor allem im Epilimnium. Hier sind nur noch etwa 9,5 mg Sauerstoff im Liter vorhanden. Erst bei 9 m Tiefe enthält das Wasser 10 mg. Die Sauerstoffmengen steigen dann bis zu einem Maximum von 11 mg in 15 m Tiefe und erreichen hier nahezu die volle Sättigung des Wassers. In 20 m Tiefe, am Ende der Sprungschicht, ist dann bereits ein Minimum von 9,6 mg gleich 83% erreicht und ab 25 m bleiben die Sauerstoffwerte nahezu konstant bei etwa 10,5 mg. Unter 90 m jedoch macht sich im Gegensatz zur vorher-

gehenden Beobachtung eine abnehmende Tendenz bemerkbar, die bis zum Seegrund reicht, wo knapp 9,2 mg, also nur mehr 74,4% der Sättigung, vorhanden sind.

Ebenso ergibt sich für die Karbonatverhältnisse bereits eine Änderung. Die Wasserprobe aus 0 m zeigt einen Rückgang um 0,2 mg/l. Damit liegt ihr Wert bereits 0,1 mg unter dem des Seegrundes, der konstant bei 7,6 mg/l verweilt. Da die Temperaturzunahme im Epilimnium zwischen den beiden Beobachtungen nicht sehr groß war, dürfte der Karbonatrückgang nur zu einem geringen Teil physikalisch bedingt sein. Die Hauptursache muß im biologischen Bereich gesucht werden.

5. Beobachtung: Die Erwärmung des Sees hat bis zum 23. 7. weitere Fortschritte gemacht. Die warme Witterung ließ die Temperatur der Oberfläche bis 20,3° ansteigen. Der Verlauf der Temperatur in den darunterliegenden Metern konnte nicht festgestellt werden, da die Skala des Kippthermometers nur bis 16 °C reichte und diese Temperatur schon in 7 m Tiefe angetroffen wurde. Trotzdem läßt sich ihr Verlauf durch Vergleich mit der vorhergehenden Beobachtung annähernd festlegen, wenn dabei auch der Witterungsablauf seit der letzten Beobachtung berücksichtigt wird. Da es in der Zwischenzeit durchwegs warm und nicht sehr wind- und niederschlagsreich war, darf wieder das Temperaturbild einer Strahlungskurve erwartet werden. Es wird also eine dünne, warme Schicht auf einem mehr oder weniger gleichmäßig temperierten Epilimnium, das bis etwa 7 m reicht, liegen. Von hier nimmt die Temperatur rasch ab und gleicht in ihren Ergebnissen mehr den Werten der vorletzten Beobachtung. Die am 9. 7. festgestellte Abkühlung zwischen 10 und 55 m ist also wieder verschwunden. Die Sprungschicht hat sich aber in dieser Zeit etwa 2 m tiefer verlagert.

Für den Sauerstoff hat sich nur wenig geändert. Im Epilimnium schwanken die Werte um 9,5 mg, liegen also nicht wesentlich über der vollen Sättigung. Zwischen 8 bis 10 m, also im Sprungschichtbereich, zeigt sich ein breites Minimum von etwas über 9 mg. Dann nimmt der Sauerstoffgehalt wieder zu, macht sich in den Sättigungsprozenten aber nicht bemerkbar, da er ziemlich genau der Temperaturabnahme dieses Bereiches entspricht. Ab 20 m Tiefe bleiben die Werte nahezu konstant. Nur zwischen 30 und 40 m machen die Sauerstoffwerte einen unvermittelten Sprung nach unten, so daß in 35 m Tiefe mit 9,4 mg nur mehr 78,5% der Sättigung vorhanden sind. Die Deutung dieses Minimums dürfte schwerfallen, da wenig Hinweise zu finden sind. Vielleicht entspricht es dem zwei Wochen zuvor bei 20 m beobachteten und wurde durch eine sekundäre Zirkulation im See, die auch die Erwärmung dieses Bereiches verursacht haben dürfte, in diese Tiefe befördert. Ab 40 m gleichen die Verhältnisse ganz denen der vorhergehenden Beobachtung. Auch die abnehmende Tendenz im Tiefenbereich des Hypolimniums blieb erhalten, ergab jedoch keine neuen Werte.

Beim Karbonatgehalt beschränken sich die Änderungen hauptsächlich auf den Seegrund. Hier läßt sich ein Anstieg von 7,6 mg/l auf 7,8 mg/l erkennen.

6. Beobachtung: Einen Monat später, am 20. 8., haben sich die Temperaturverhältnisse des Sees nur wenig verändert. Trotz warmer Witterung liegt die Temperatur der Oberfläche nur 0,3 ° höher als vor vier Wochen. Das Epilimnium läßt die Bildung von drei Sprungschichten im 1,5-, 3- und 6-m-Bereich erkennen und erinnert mit diesem Temperaturbild mehr an den Frühsommer. Es spiegelt sich

hier der unruhige Witterungsablauf seit der letzten Beobachtung wider, der z. B. in der ersten Dekade des August einige kühle und windreiche Tage brachte. Eine Tagessprungschicht wird durch mäßigen SW-Wind vermindert. Ab 10 m gleicht die Temperatur der vor vier Wochen. In 20 m Tiefe zeigt sich plötzlich eine leichte Abkühlung, die sich erst in 50 m Tiefe wieder ausgleicht. Es dürfte sich hier wieder um Zirkulationsfolgen handeln, denn auch bei den Sauerstoffverhältnissen zeigt sich dafür eine Andeutung. Im Seebereich unter 50 m hat die Erwärmung nur sehr geringe Fortschritte gemacht, etwa um $0,1^{\circ}$.

Für die Sauerstoffverhältnisse ergibt sich an diesem Beobachtungstage eine bedeutende Veränderung, während die Sommerstagnation des Sees, wie die Temperaturwerte zeigen, ihrem Höhepunkt zustrebt. Die bisherigen Sauerstoffbeobachtungen ergaben für alle Tiefen nahezu gleiche Werte. Wenn auch vor allem in den oberen Bereichen oft Schwankungen auftraten, so waren diese doch ziemlich unregelmäßig und wahllos. Meist zeigte sich ein Minimum, wo die vorhergehende Beobachtung ein Maximum ergab und umgekehrt (vgl. die Werte aus 12,5 m Tiefe vom 12. 5., 2. 6. und 17. 6.). Im großen und ganzen jedoch zeigten die Sauerstoffkurven einen Verlauf, der durchaus noch auf Oligotrophie deuten würde. Die reiche Sauerstoffversorgung aller Wasserschichten, wie sie nach der Frühjahrszirkulation vorhanden war, hat sich zwar etwas vermindert, ist aber durchwegs noch recht gut, und wenn sich zwischen den einzelnen Beobachtungen ein Sauerstoffschwund zeigt, so erstreckte er sich meist gleichmäßig über die gesamte Wassermasse des Sees. Die oligotrophen Merkmale müßten nun auch erhalten bleiben, während sich der See im Stadium der Sommerstagnation befindet, wenn der Würmsee zum oligotrophen Typ gehören sollte, wie es in der bisherigen Literatur angenommen wird. Dies ist jedoch nicht der Fall. Es zeigt sich diesmal der Beginn einer neuen Entwicklung:

Im Epilimnium haben die Sauerstoffmengen zu einer merklichen Übersättigung geführt. In 3 m Tiefe liegt das Maximum mit 127%. Von hier an nehmen die Werte dann bald sehr rasch ab und erreichen mit Beginn des Metalimniums in 10 m Tiefe ein Minimum von 84%. Nach der Tiefe zu steigen die Sauerstoffmengen wieder an, erreichen aber den tiefen Temperaturen des Hypolimniums entsprechend keine wesentlich höheren Sättigungsprozente mehr. Im Tiefenbereich des Hypolimniums ist der bis jetzt nur schwach angedeutete Sauerstoffschwund schon deutlich zu erkennen. Am Grund, der an diesem Tage in 117 m erreicht wurde, sind nur noch 60% des Sättigungswertes vorhanden.

Der Karbonatgehalt des Oberflächenwassers ist erneut gesunken und liegt jetzt $0,2 \text{ mg/l}$ unter dem Wert der letzten Beobachtung. Das Maximum des Karbonatgehaltes befindet sich diesmal nicht am Seegrund, wo $7,6 \text{ mg/l}$ enthalten sind, sondern in 20 m Tiefe mit fast $7,7 \text{ mg/l}$. Diese Erscheinung dürfte die bereits erwähnte Tatsache unterstreichen, daß sich große Seetiefen hemmend auf die Anreicherung des Tiefenwassers mit Karbonaten im Verein mit der biogenen Entkalkung im Epilimnium auswirken.

7. Beobachtung: Am 12. 9. zeigt sich bereits der Beginn spätsommerlicher Verhältnisse. Das Epilimnium nähert sich trotz der meist warmen und windarmen Tage seit der letzten Beobachtung mehr und mehr einer einheitlichen Temperatur. Nur die obersten Schichten sind noch etwas wärmer. Die Wärmeausstrahlung beginnt also langsam die Einstrahlung zu überwiegen. In 8 m Tiefe liegt dann sehr scharf abgetrennt das Metalimnium. Von hier ab gleichen die Temperaturen

weitgehend denen der vorhergehenden Beobachtung. Zwischen 15 und 22 m nimmt die Temperatur nochmals leicht ab, ihr Gesamtverlauf hat sich aber im Vergleich zur vorigen Beobachtung beruhigt. Da die Winde seit der letzten Beobachtung überwiegend aus NW kamen, darf trotz ihrer geringen Intensität eine Sekundärströmung angenommen werden, die diese leichte Abkühlung im 15- bis 22-m-Bereich verursachte. Die Temperatur der Tiefenzone ist praktisch unverändert.

Die Sauerstoffverhältnisse zeigen eine Weiterentwicklung in dem drei Wochen zuvor angedeuteten Sinne. Das Epilimnium hat seine Übersättigung bewahrt. In 2 m Tiefe bildete sich ein schmales Maximum von 134% Übersättigung. Zwei kleinere Maxima liegen in 5 und 7 m Tiefe und werden jeweils durch schmale Minima getrennt. Dieses Bild der Sauerstoffverteilung scheint einer oft beobachteten, scharf abgegrenzten Schichtung des Planktons zu entsprechen, wie sie sich während der Sommerstagnation häufig bildet. Der Sauerstoffschwund im Metalimnium hat weiter angehalten. Es sind dort nur noch 75%, der eigentlichen Sättigung vorhanden. Außerdem erstreckt er sich diesmal bereits über einen wesentlich größeren Raum, als bei der vorhergehenden Beobachtung. Im Hypolimnium sind die Werte wieder höher und gleichen zwischen 40 und 50 m denen der letzten Beobachtung. Ab 60 m zeigt sich leichter Rückgang, in 100 m um fast 5%. Am Grund, der bereits in 116 m Tiefe erreicht war, sind noch 66% vorhanden.

Die Wasserprobe vom Seegrund erbringt wieder den größten Karbonatgehalt. Dementsprechend ist hier der pH-Wert am weitesten in saurer Richtung verschoben. Das Karbonatmaximum in 20 m ist verschwunden. Dafür zeigen die Ergebnisse aus 40 m etwas ansteigende Tendenz.

8. Beobachtung: Am 25. 9. zeigen sich keine großen Veränderungen. Das Epilimnium hat sich zwar um 3° abgekühlt, zeigt aber noch keinen Anfang der Homothermie. An der Oberfläche konnte sich infolge warmer, windstiller Witterung eine dünne Tagessprungschicht bilden. Die Sprungschicht des Sommers hat sich 3 m tiefer verlagert und beginnt jetzt in 11 m Tiefe. Im übrigen sind die Temperaturverhältnisse gleich geblieben, nur im 15-m-Bereich ist noch eine schwache Abkühlung erkennbar, die dazu beiträgt, die Sprungschicht noch schärfer herauszuarbeiten. Durch Zirkulation wurde hier noch etwas kälteres Tiefenwasser emporgebracht.

Die Sauerstoffverhältnisse bestätigen die bisherigen Erfahrungen. Das Epilimnium hat seine Sauerstoffmengen weiter vergrößert, deren Maximum in 3 m Tiefe liegt. Die prozentuale Übersättigung ging infolge der bereits eingetretenen beachtlichen Abkühlung des Epilimniums gegenüber den letzten Ergebnissen leicht zurück, obwohl die absoluten Werte noch weiter angestiegen sind. Die Erklärung dafür kann nur im biologischen Bereich gesucht werden. An der Obergrenze des Metalimniums liegt noch ein zweites Sauerstoffmaximum. Von ihm aus fallen die Sauerstoffwerte im Metalimnium sehr steil zum Minimum in 12,5 m Tiefe ab, wo mit 7,5 mg nur mehr 71% der Sättigung vorhanden sind. Damit ergab sich bei einem Abstand der Wasserproben von 2,5 m eine Sauerstoffabnahme um 49 Sättigungsprozente. Darunter nehmen die Sauerstoffmengen langsam wieder zu. Sie erreichen in 25 m Tiefe die bisherigen Werte und bilden in 30 m Tiefe sogar ein schwaches Maximum, gefolgt von einem ebenfalls schwachen Minimum in 35 m Tiefe, das an die Beobachtung vom 23. 7. erinnert, jedoch längst nicht so ausgeprägt ist. Ab 40 m gleichen die Ergebnisse den bisherigen. Erst unter 80 m zeigt sich

wieder leichter Sauerstoffschwund, der bis 100 m gleich bleibt, sich dann aber gegen den Grund hin verstärkt, wo in 125 m Tiefe nur mehr knapp 44 % der Sättigung vorhanden sind.

Der Karbonatgehalt ist an der Oberfläche erneut stark gesunken von 7,4 auf knapp 7,1 mg/l und entspricht so den gestiegenen Sauerstoffmengen. Das Maximum liegt wieder bereits in 20 m Tiefe mit 7,9 mg/l. Darunter sinken die Werte wieder bis 80 m Tiefe auf knapp 7,6 mg/l, um zum Seegrund hin erneut auf über 7,8 anzusteigen. Analog haben sich die pH-Werte weiter verändert. An der Oberfläche liegt der pH-Wert jetzt bei 8,45 und am Seegrund näherte er sich mit 7,45 weiter dem Neutralpunkt. Der übrige Seebereich hat mit 7,8 fast gleiche Ergebnisse.

9. Beobachtung: Die Beobachtung am 12. 10. ergibt geradezu ein charakteristisches Musterbeispiel einer spätsommerlichen bis herbstlichen Temperaturverteilung. Von der Oberfläche bis in 10 m Tiefe herrscht mit 13,3° vollkommene Homothermie. Ein leichter Übergang vermittelt zur Sprungschicht, die in 13 m Tiefe mit steilem Temperaturabfall bei einem Gradienten von $1\frac{1}{2}^{\circ}/\text{m}$ beginnt. Ab 20 m gleichen die Temperaturen weitgehend denen der vorausgegangenen Beobachtung. Die Sommerstagnation ist also durch die herbstliche Teilzirkulation abgelöst, die bereits das ganze Epilimnium erfasst hat und zu dessen langsamer Abkühlung führt. Die Sprungschicht wird durch Einbeziehung von Schichten des Metalimniums in die obere Zirkulation immer tiefer gedrückt unter gleichzeitiger Verringerung der Temperaturspannung. Dies bedeutet jedoch nicht, daß sie dadurch an Deutlichkeit verliert, im Gegenteil, sie prägt sich immer schärfer in ihren Grenzen aus, was auch die folgenden Beobachtungen bestätigen werden.

Die fortschreitende Herbstabkühlung bewirkte für die Sauerstoffwerte im Epilimnium bereits einen weitgehenden Ausgleich. Nur in 1 m Tiefe liegt ein eng begrenztes Minimum, gefolgt von einem ebenso schwachen Maximum in 2 m Tiefe, dann bleiben die Sauerstoffmengen bis 10 m unverändert. Von hier an nehmen sie mit Beginn der Sprungschicht immer rascher bis zum metalimnischen Minimum ab, das bereits auf 15 m Tiefe herabgedrückt wurde. Im oberen Hypolimnium ist das Maximum in 30 m Tiefe wieder verschwunden. Es läßt sich auch im ganzen eine schwache Abnahme der Sauerstoffmengen feststellen. Ab 50 m sind die Verhältnisse weiterhin ziemlich ungestört. Nur die Sauerstoffzehrung am Seegrund hat weitere Fortschritte gemacht und ist noch bis 90 m herauf bemerkbar.

Während sich die Karbonatverhältnisse an der Oberfläche nicht geändert haben seit der letzten Beobachtung, sind die pH-Werte bereits wieder auf 8,25 gesunken. Am Seegrund dagegen hielt die sommerliche Entwicklung noch an. Es ergab sich dort mit einem pH von 7,42 noch eine geringe Änderung. Hier liegt auch das Maximum der Karbonatmenge mit 7,8 mg/l und entspricht somit dem geringsten Sauerstoffwert.

10. Beobachtung: Am 30. 10. zeigen die Ergebnisse der Temperaturmessungen eine Weiterentwicklung der herbstlichen Abkühlung. Das Epilimnium hat sich um 2,8° abgekühlt und gleichzeitig an Mächtigkeit zugenommen. Zwischen 1 und 3 m zeigt die Temperatur im sonst nahezu homothermen Epilimnium einen leichten Anstieg, der auf einige wärmere Tage vor der Beobachtung hinweist. Die Temperatur der obersten Meterschicht zeigt aber, daß dieser vorübergehende Wärmegewinn bereits wieder abgebaut wird. Die sehr gut ausgebildete Sprungschicht liegt

jetzt mit einem Gradienten von $2,5^{\circ}/\text{m}$ bei 19 m. Zwischen 25 und 35 m ist noch leichte Abkühlung erkennbar, dann aber gleichen die Temperaturen sehr genau denen der vorhergehenden Beobachtungen.

Im Epilimnium sind die Sauerstoffmengen linear gesunken, dafür hat sich das metalimnische Minimum nahezu aufgefüllt. Hier zeigt sich somit die ausgleichende Wirkung der Herbstteilzirkulation. Auch im ganzen Hypolimnium ergibt sich eine leichte Schwankung, die vermuten läßt, daß die Sekundärzirkulation im See durch die anhaltende Bewegung im Epilimnium während der vorhergehenden windreichen Tage wieder aufgelebt ist. So liegen die Werte in 40 und 80 m Tiefe unter, die in 50 bis 60 und in 100 m über den letzten. Am Seegrund hat sich nichts geändert.

11. Beobachtung: Auch am 12. 11. zeigt sich das Fortschreiten der herbstlichen Abkühlung. Die Temperatur des Epilimniums ist weiter, wenn auch langsamer als zwischen den vorhergehenden Beobachtungen, um fast 1° auf $9,6^{\circ}$ gesunken. Die Sprungschicht hat sich nur wenig tiefer verlegt, und zwar bis knapp 20 m. Darunter verlaufen die Temperaturen genau wie am vorhergehenden Beobachtungstage.

Die Sauerstoffergebnisse zeigen eine restaurative Tendenz hinsichtlich der Sommerverhältnisse. Im Epilimnium sind die Werte wieder angestiegen, wenn auch ohne besonders lokalisierte Maxima infolge der bereits lebhaften Konvektion. Das nahezu verschwundene Minimum des Metalimniums ist wieder gut und vor allem großräumig ausgeprägt. Von hier steigen die Werte wieder an, nehmen aber einen sehr ruhigen Verlauf, der ganz dem vom 12. 10. gleicht, allerdings ein Stück in negativer Richtung verschoben. Am Seegrund, der diesmal in 124 m Tiefe erreicht wurde, sind mit $4,1 \text{ mg}$ nur noch $33,5\%$ der eigentlichen Sättigung vorhanden. Damit war der Tiefststand des Sauerstoffgehaltes am Seegrund im Beobachtungsjahr 1955 erreicht.

Die Zirkulation im See hat bereits zum Ausgleich und wieder zur langsamen Anreicherung mit Karbonat in den ersten 20 m geführt. Unabhängig von dieser Zirkulation ist auch im Hypolimnium der Karbonatgehalt noch leicht angestiegen und erreicht am Seegrund $7,9 \text{ mg l.}$ An der Oberfläche entsprechen die pH-Werte der Karbonatentwicklung. Am Seegrund dagegen entfernen sie sich, wenn auch noch sehr geringfügig, schon wieder vom Neutralpunkt und stimmen somit nicht mehr mit den Karbonatverhältnissen überein.

12. Beobachtung: Ein ganz anderes Bild ergeben die Temperaturwerte vierzehn Tage später, am 26. 11. Das homotherme Epilimnium ist zwar noch vorhanden. Seine Temperatur ist aber diesmal stark zurückgegangen um fast 3° , verursacht durch die kalte Witterung seit der letzten Beobachtung. Sie brachte bereits an acht Tagen Schneefälle und sechs Tagesmittel unter dem Gefrierpunkt. Die Folge davon ist, daß die Sprungschicht nur mehr $0,5^{\circ}$ umfaßt und kaum noch als solche angesprochen werden darf. Sie liegt zwischen 18 und 20 m und hat sich somit nicht mehr tiefer verlagert. Zwischen 20 und 25 m herrscht fast wieder Homothermie, ganz im Gegensatz zu früheren Beobachtungen, wo hier mit immer langsamerem Temperaturabfall der Übergang zum Hypolimnium stattfand. Im 30-m-Bereich wird eine weitere Sprungschicht angedeutet. Gegenüber dem 12. 11. hat hier die Temperatur um etwa $0,5^{\circ}$ zugenommen. Ebenso zeigt der See in 40–60 m Tiefe eine Erwärmung von $1\frac{1}{2}^{\circ}$ und mehr, die sich abgeschwächt bis in 90 m Tiefe

verfolgen läßt. Darunter ergab sich noch keine Änderung. Diese Temperaturverteilung, die vor allem in 40—60 m Tiefe eine recht beachtliche Erwärmung zeigt, deutet darauf hin, daß der gesamte See wieder in Zirkulation gekommen ist. Wenn es auch noch kein einheitliches System ist, wie aus den Sauerstoffverhältnissen hervorgeht, so läßt sich daraus doch schließen, daß die Stabilität der Sommerschichtung zu Ende geht.

Entsprechend den Temperaturverhältnissen zeigen auch die Sauerstoffergebnisse das Verschwinden der bisherigen, charakteristischen Merkmale. So erinnert nur noch ein ganz schwaches Minimum in 35 m Tiefe an das zwei Wochen zuvor nochmals gut ausgeprägte, metalinnische Defizit. Im Epilimnium sind, von den Schwankungen abgesehen, die Verhältnisse fast ausgeglichen. Auch im Hypolimnium zeigen die Sauerstoffverhältnisse bereits deutlicher, als es die Temperaturergebnisse vermuten ließen, die Beendigung der stabilen Schichtung. In dem bis jetzt nur wenig am Seestoffwechsel beteiligten Bereich von 40 bis 80 m tritt ein Rückgang der Sauerstoffmenge zugunsten der tieferen Wassermassen auf, die bereits beginnen, ihre Sauerstoffvorräte wieder aufzufüllen. Am Grund in 125 m Tiefe sind wieder 55% der Sättigung vorhanden.

Dementsprechend tritt am Seegrund bereits eine Abnahme des Karbonatgehaltes auf 7,7 mg/l ein. Die pH-Werte dagegen nähern sich noch einmal mit 7,37 am weitesten in diesem Beobachtungsjahr dem Neutralpunkt. Die Oberflächenwerte haben sich mit einem pH von 7,85 schon weitgehend denen des übrigen Sees angeglichen.

13. Beobachtung: Die Beobachtung am 20. 12. zeigt bereits das Ergebnis der einen Monat zuvor angedeuteten Entwicklung. Fast die gesamte Wassermasse des Sees zeigt eine einheitliche Temperatur von knapp 5°. Ab 60 m ist noch ein Sprung angedeutet, der sich vor allem im 80-m-Bereich deutlicher zeigt. Darunter bleibt die Temperatur ab 90 m bis zum Grund, wo ebenfalls bereits Erwärmung festzustellen ist, ziemlich konstant. Der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Seegrund beträgt nur noch knapp 0,8°. Damit sind die Dichteunterschiede, die für Wasser im 4°-Bereich sowieso am geringsten sind (s. RUTTNER 1940, S. 7), zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser sehr klein geworden. Es ist kein allzu starker Sturm nötig, um das ganze Seewasser zu durchmischen. Der See steht somit am Beginn der Herbstvollzirkulation.

Vom ehemaligen Epilimnium tiefergreifend haben sich die Sauerstoffverhältnisse nahezu linear ausgeglichen. Nur ein eng begrenztes Maximum in 7 m Tiefe überragt die anderen Sauerstoffwerte um etwa 0,5 mg. Von 60 bis 80 m nehmen die Sauerstoffmengen um 0,63 mg = 5,9 Sättigungsprozente ab. Darunter erinnert die Sauerstoffkurve noch schwach an die vergangenen Sommerzustände, wenn auch die Sauerstoffvorräte bereits weiter aufgefüllt wurden. Es scheint, daß sich der See noch nicht in Herbstvollzirkulation befindet, sondern daß vorerst noch zwei Zirkulationssysteme nebeneinander bzw. übereinander bestehen. Eines von der Oberfläche bis etwa 70 m, darunter verweilt der Tiefenbereich des Hypolimniums immer noch in einer durch das obere Zirkulationssystem angeregten, sekundären Bewegung. Diese Vermutung wird auch durch den schwachen Temperatursprung im 80-m-Bereich bestärkt, der zwei homotherme Schichten trennt.

Die Karbonatwerte sind bereits weitgehend ausgeglichen. Nur der Seegrund hat mit 7,6 mg/l noch höhere Werte. Dementsprechend sind auch die pH-Ergebnisse hier noch weiter von den übrigen Seewerten entfernt.

14. Beobachtung: Am 15. 1. 1956 ergibt das Bild der Temperaturverteilung eine senkrechte Gerade. Der gesamte See zeigt eine einheitliche Temperatur von $4,4^{\circ}$. Nur gegen den Grund sinkt sie auf $4,3^{\circ}$ ab. Trotzdem ist die Dichte des ganzen Seewassers gleich, denn mit zunehmendem Atm.-Druck sinkt das Dichtemaximum des Wassers etwas unter 4°C , dem am Grund des Würmises herrschenden Druck entsprechend also um etwa $0,1^{\circ}$ auf $3,9^{\circ}$. Der See befindet sich jetzt im Gegensatz zum Sommer in vollkommen labilem Zustand. Wird jetzt das Oberflächenwasser durch Wind in Bewegung gesetzt, so gerät bald der ganze See in Zirkulation. Dies ist auch für andere Faktoren von Bedeutung, so z. B. für die Abkühlung, solange die Wassertemperatur des Sees über 4° liegt. Das kälter und schwerer werdende Wasser sinkt in die Tiefe und wird von dort durch wärmeres ersetzt. Der Abkühlungsvorgang hängt damit nicht nur von der Witterung ab, sondern in bedeutendem Maße auch von der Tiefe des Sees. Die Abkühlung des gesamten Seewassers schreitet auch unter 4° fort, wenn das Wetter genügend windig ist.

Der instabilen Schichtung des Sees entsprechend haben sich die Sauerstoffverhältnisse vollkommen ausgeglichen. Bis etwa 30 m Tiefe zeigen sich noch kaum merkliche Schwankungen, darunter verläuft die Sauerstoffkurve linear. Der Sauerstoffschwund gegen den Seegrund ist verschwunden. Im oberen Seebereich ab 60 m gingen die Sauerstoffmengen gegenüber den letzten Ergebnissen noch um knapp 1 mg zurück.

Auch die Karbonatverteilung des Sees ist weitgehend ausgeglichen, wenn auch noch nicht in dem Maße wie die Sauerstoffergebnisse. Ebenso zeigen die pH-Werte mit Ausnahme vom Seegrund keinen Unterschied.

15. Beobachtung: Das sehr bewegte Wettergeschehen im März ermöglichte erst am 21. 3. eine Beobachtung. Der gesamte See zeigt eine starke Abkühlung als Folge der vorhergehenden Kälteperiode. — Die für unsere geographische Lage ungewöhnlich kalte Witterung im Februar dauerte vier Wochen. Während dieser Zeit stieg das Thermometer nie bis 0° an, sondern sank oft bis -20° und mehr ab. Eingeleitet wurde sie durch starke Stürme und war auch während ihrer gesamten Dauer sehr windreich. So zertrümmerte in der Nacht vom 8. zum 9. 2. ein starker NO-Sturm die gesamte Eisdecke des Sees, die sich aber infolge der großen Kälte rasch wieder bildete. Erst am 28. 2. nahm dieser Witterungsabschnitt ein Ende. Eingeleitet durch starke Weststürme, die den Eispanzer des Sees rasch zerstörten und am Ufer großen Schaden anrichteten, setzte sich eine großräumige Westdrift durch. — Bis 25 m Tiefe zeigte das Wasser nur noch eine Temperatur von $2,8^{\circ}$. Darunter ließ sich ein schwacher Anstieg erkennen. In 45 m Tiefe waren 3° und am Seegrund $3,4^{\circ}$ erreicht. Diese Temperatur wird auch von ULE als die bisher tiefste am Seegrund gemessene angegeben. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß sich der See noch mehr abkühlen kann, denn dies wird vor allem durch den jeweiligen Witterungscharakter bestimmt.

Bei einem ähnlichen Verlauf der Temperaturkurve wie am vorhergehenden Beobachtungstage, erwartet man auch für die Sauerstoffverhältnisse eine Übereinstimmung mit den vorhergehenden Ergebnissen. Dies trifft zwar für den Seebereich unter 60 m zu, wo die Sauerstoffmengen zwar wesentlich angestiegen sind, jedoch für die ganze Wassermasse gleichmäßig, nicht aber für den drüber liegenden Wasserbereich. Hier zeigen sich ziemliche Schwankungen. So befindet sich bereits in 50 m ein Maximum, ein noch größeres in 30 m Tiefe, darüber zwei schwache

und wieder ein größeres in 5 m. Ab 2 m steigen dann die Sauerstoffmengen gegen die Oberfläche hin sprunghaft an und erreichen mit 13,8 mg 109% der Sättigung.

Diese Beobachtungsergebnisse sind wohl folgendermaßen zu deuten: Der See befand sich etwa einen Monat in Winterstagnation während der Eisbedeckung im Februar. Nun setzt mit der beginnenden Erwärmung die Frühjahrszirkulation ein, die an der Oberfläche angreifend am Beobachtungstag etwa bis 60 m Tiefe vorgedrungen sein dürfte. Irgendwelche Plankter kommen in Anbetracht der frühen Jahreszeit und der tiefen Wassertemperaturen (2,8 bis 3°) nicht als Ursache dieser bedeutenden Schwankung in Frage. Auch die tiefe Lage und die instabilen Wasser- verhältnisse sprechen gegen eine biologische Ursache dieser Maxima.

Die Karbonatverhältnisse blieben, wie die Beobachtung zeigt, etwa 2 Monate lang nahezu konstant. Nur im 20—40-m-Bereich zeigt sich eine geringe Karbonatanreicherung. Bei den pH-Werten spiegelt sich diese Entwicklung nicht wider. Sie sind weiterhin nahezu ausgeglichen.

16. Beobachtung: Am 24. 4. hat sich das Seewasser etwa bis zu seinem Dichtemaximum erwärmt. Am Seegrund liegt die Temperatur noch bei 3,8° und erreicht mit gleichmäßigem, kaum merkbarem Anstieg 4,1° in zwei Meter Tiefe. Darüber zeigt sich eine dünne Tageserwärmung der obersten Wasserschichten mit 5,4° an der Oberfläche.

Das Ergebnis dieser Temperaturbeobachtung ist wieder von besonderem Interesse, da es die Grenze zu einem neuen Abschnitt im Temperaturgeschehen des Sees bildet. Wenn sich die Wassermasse des Sees bis zu ihrem Dichtemaximum erwärmt hat, geht die Frühjahrsvollzirkulation ihrem Ende entgegen. Die an der Seeoberfläche angreifende Erwärmung ist der Jahreszeit und vor allem dem Sonnenstand gemäß bereits sehr intensiv. Es bildet sich eine deutliche Tagessprungschicht, wie die Beobachtung zeigt. Das wärmere Wasser bleibt jetzt an der Oberfläche.

Auf Grund der Wassertemperaturen, die etwa dem Dichtemaximum entsprechen, sollte man meinen, daß sich diese Tatsache auch in völlig gleichen Sauerstoffwerten von der Oberfläche bis zum Seegrund widerspiegelt. Zwar hat sich das Kurvenbild der letzten Beobachtung im 0- bis 60-m-Bereich wieder etwas geglättet, jedoch längst nicht wie zu erwarten wäre. So liegt in 6 m ein schmales, aber deutliches Minimum und in 30 m ein Maximum. Von 60 bis 100 m sind die Sauerstoffmengen gegenüber der letzten Beobachtung linear angestiegen und liegen jetzt nahe dem Sättigungswert. Unter 100 m bis zum Seegrund, der in 124 m erreicht wurde, nimmt der Sauerstoff um über 1 mg ab. Ob sich hier bereits wieder der im Vorjahr vom Grund ausgehende Sauerstoffschwund bemerkbar macht, oder ob hier die Frühjahrszirkulation nicht mehr tief genug hinab reichte, um das Wasser völlig mit Sauerstoff zu sättigen, ist schwer zu sagen. Allerdings spricht für die zweite Annahme die Sauerstoffkurve vom 21. 3.

Die Karbonatmengen sind im Bereich unter 20 m mit knapp 7,6 mg/l völlig ausgeglichen. Darüber aber steigen sie gegen die Oberfläche hin an und erreichen dort 7,7 mg/l. Dies spiegelt sich auch geringfügig in den pH-Werten wider. Doch zeigt sich auch am Seegrund bereits eine Annäherung zum Neutralpunkt entgegen den Karbonatmengen, die hier noch keine Änderung ergeben.

17. Beobachtung: Wie diese Frühjahrserwärmung nun fortschreitet, zeigt die Beobachtung vom 14. 5. Der Temperaturverlauf läßt drei Sprungschichten im 2-, 8- und 16-m-Bereich erkennen und erinnert ganz an die Verhältnisse vor

einem Jahr. Nur zwischen 20 und 25 m war es vor einem Jahr bereits merklich wärmer. Unter 30 m nimmt die Temperatur nur noch wenig ab und von hier an gleichen die Werte auch ganz denen des Vorjahres.

Mit der fortschreitenden Frühjahrserwärmung zeigt sich bereits wieder die Tendenz zu Sauerstoffübersättigung in den oberen Wasserschichten. So liegen die Sauerstoffmengen bis 10 m Tiefe über der vollen Sättigung, dann gehen die Werte etwas zurück, erreichen in 20 m noch ein kleines Maximum und verlaufen ab 30 m fast linear. Ab 100 m hat sich die Sauerstoffabnahme gegen den Seegrund erhalten.

Auch die Karbonatverteilung hat sich seit der letzten Beobachtung grundlegend geändert. An der Oberfläche ist der Karbonatgehalt unter 7,5 mg/l gesunken, erreicht in 40 m Tiefe ein Minimum mit 7,4 mg/l und steigt dann bis zum Seegrund auf über 7,6 mg/l an. Eine ähnliche Entwicklung zeigen die pH-Werte. An der Oberfläche haben sie fast 8,0 erreicht. Der übrige Seebereich liegt weiterhin bei etwa $\text{pH} = 7,8$. Gegen den Seegrund hat sich das Gefälle erhalten. Die Sichtscheibe verschwand an diesem Beobachtungstage in 5,5 m Tiefe.

18. Beobachtung: Am 27. 5. hat sich die Oberfläche bereits stark erwärmt auf $14,5^\circ$, also um $5,6^\circ$ in knapp zwei Wochen. Die Temperaturverteilung im See ergibt das typische Bild einer Strahlungskurve. Von der Oberfläche sinken die Werte mit zunehmender Tiefe sehr rasch ab und erreichen bereits bei 7 m die der vorhergehenden Beobachtung. Von 7 bis 19 m ist sogar Abkühlung eingetreten mit einem Maximum von $0,7^\circ$ in 12 m Tiefe. Ab 20 m hat sich der See etwas erwärmt. In 60 m Tiefe beträgt diese Temperaturzunahme nur noch $\frac{1}{2}$ zehntel Grad. Im ganzen zeigt der Temperaturverlauf dieser Beobachtung ein sehr schönes Bild einer fortgeschrittenen Frühjahrserwärmung, die trotz der rasch angestiegenen Temperaturen im obersten Seebereich noch keine Gliederung in Epi-, Meta- und Hypolimnium zeigt.

Ein Vergleich dieser Temperaturverhältnisse mit denen vom 2. 6. des Vorjahres zeigt jedoch einen erheblichen Unterschied. Damals war bereits eine viel tiefgreifendere Erwärmung erkennbar. Noch in 30 m Tiefe beträgt der Unterschied $0,8^\circ$. Der Unterschied wird verständlich, wenn die meteorologischen Verhältnisse beider Jahre verglichen werden. 1955 war es um diese Jahreszeit merklich windiger mit überwiegenden W-NW-Winden. Der Temperaturverlauf zeigte wesentlich häufiger Schwankungen und die Tage mit Niederschlag waren zahlreicher, obwohl die Gesamtniederschlagsmenge sogar geringer war. 1956 dagegen herrschten in der letzten Dekade des Mai Schönwetterlagen vor (Strahlungskurve) mit Winden aus NO. Es fehlten also die kräftigen Winde und damit die Zirkulation im See, die die Wärme von der Oberfläche in tiefere Schichten befördert. Die Erwärmung des Sees beschränkte sich daher auf wenige Meter an der Seeoberfläche.

Die Sauerstoffmengen im Epilimnium haben beträchtlich zugenommen. Das Maximum der Übersättigung liegt in 3 m Tiefe mit 12,7 mg oder 121,5%. Die im Vorjahr festgestellte Tendenz zur Sauerstoffübersättigung im Epilimnium, die damals erst im August auftrat, zeigt sich somit schon wesentlich früher, wenn auch nicht so sprunghaft und stark ausgebildet. Der mit dieser Entwicklung erwartete Sauerstoffschwund im Metalimnium tritt noch nicht auf. Es scheint, daß sich die Masse der Plankter eben erst entwickelt hat und noch wenige, tote Organismen zu Boden sinken. Die Sauerstoffverhältnisse gleiten somit vom epilimnischen

Maximum langsam in die unter 20 m nahezu unveränderten, hypolimnischen Zustände über.

Dieser Entwicklung entsprechend sinken die Karbonatwerte an der Oberfläche weiter unter 7,4 mg/l, während sich im übrigen Seebereich wenig ändert. Das gleiche gilt für die pH-Ergebnisse. Sie erreichen an der Seeoberfläche bereits 8,17, während der übrige Seebereich keine Änderung zeigt. Die Sichttiefe hat sich auf 3,5 m verringert.

19. Beobachtung: Die Beobachtung vom 8. 7. liefert bereits ein schönes Bild der Sommerstagnation. Das sehr warme und windstille Wetter ließ die Oberflächentemperatur bis über 21° ansteigen. Noch in 4 m Tiefe ist die Erwärmung der herrschenden Schönwetterperiode erkennbar. Dann bleiben die Temperaturen etwas gleichmäßiger und deuten bereits auf eine homothermere Deckschicht hin. Bei 10 m beginnt eine wohl ausgeprägte Sprungschicht mit einem Gradienten von 4°/2,5 m. Die Tiefenerwärmung des Sees hat weiter angehalten, jedoch mit rasch abnehmender Intensität gegen die Tiefe zu. Sie beträgt ab 50 m etwas über 0,1 und ist auch am Grund des Sees noch erkennbar.

Ein Vergleich mit den Verhältnissen vor genau einem Jahr ergibt für das Epilimnium keinen wesentlichen Unterschied, wenn auch damals die Temperatur etwas einheitlicher war und heuer in den obersten Metern höher liegt, so ist die untere Hälfte des Epilimniums zum Ausgleich etwas kälter. Die Sprungschicht war im Vorjahr an Volumen etwas mächtiger, dafür aber die Temperaturspannung kleiner als dieses Jahr. In der Tiefenlage dürften sich beide in etwa entsprechen. Erst mit Beginn des Hypolimniums treten die Unterschiede auf. Bereits Ende Mai zeigte sich ein bedeutendes Nachhinken der Temperaturen dieses Bereiches gegenüber denen des Vorjahres. Dieser Unterschied hat sich erhalten, vielleicht sogar noch geringfügig verstärkt. Der Juni 1956 konnte also den Vorsprung des Vorjahres in der Erwärmung des oberen Hypolimniums nicht mehr aufholen. Dies wird verständlich, wenn wir den Witterungsablauf in beiden Jahren betrachten. Im Juni 1956 war es um 2,4° merklich kälter. Besonders ab Monatsmitte war es im Vorjahr bereits beträchtlich wärmer. Die Windverhältnisse waren in etwa gleich, die Niederschlagsmenge aber im zweiten Jahr um 75,1 mm größer. Es ist also verständlich, daß der Juni 1956, der kälter aber nicht windreicher war als im Vorjahr, die Ende Mai aufgetretenen Unterschiede nicht mehr ausgleichen konnte. Um eine tiefgreifende Erwärmung des Sees zu erreichen, ist vor allem kräftiger Wind nötig, wie er sich am Beispiel der beiden Beobachtungen von Mitte und Ende Mai zeigte.

Dieser Beobachtungstag bringt zwar für die Temperaturen wesentliche Veränderungen, nicht jedoch für den Sauerstoff. Das Sauerstoffmaximum des Epilimniums liegt weiterhin in 3 m Tiefe und hat sich etwas verstärkt auf 12,9 mg. Den gegenüber der letzten Beobachtung wesentlich angestiegenen Temperaturen zufolge ergibt das eine Übersättigung von 137%. Unter 3 m sind die Sauerstoffmengen seit dem letzten Mal gesunken. Trotz des gut ausgeprägten Metalimniums, das die Temperaturbeobachtung ergab, zeigt die Sauerstoffkurve noch nicht das charakteristische Minimum im Bereich der Sprungschicht. Es dürfte aber angedeutet sein durch den stärkeren Sauerstoffschwund im 10- bis 20-m-Bereich, der zu einem langgezogenen Minimum führte. Bis 40 m treten noch leichte Schwankungen auf, darunter liegt dann der nahezu unveränderte Bereich des Hypolimniums. Am Seegrund hat sich die Sauerstoffzehrung wieder verstärkt und macht

sich nunmehr bis 80 m herauf bemerkbar. In 125 m Tiefe waren mit 7,9 mg nur noch 64% der Sättigung vorhanden und lagen damit bereits um 10% unter den Vorjahreswerten.

Die Sauerstoffverteilung dieses Beobachtungstages läßt vermuten, daß die biologische Entwicklung im See seit der Beobachtung Ende Mai unterbrochen oder doch zumindest sehr gebremst war. Da die Temperaturverteilung im See eine verhältnismäßig starke Tiefenerwärmung seit der letzten Beobachtung anzeigt, darf eine starke Zirkulation im See vermutet werden. Diese könnte etwa am Ende der ersten Dekade des Juni stattgefunden haben bei sehr kalter Witterung (am 8. 6. betrug das Tagesmittel nur mehr 4,4° und am 9. 6. wieder 6,8°). Es wehten kräftige Westwinde, die reichlich Niederschlag brachten (10,0 und 19,4 mm). Wenn nun auch die Zirkulation wieder mehr und mehr zur Ruhe kam, so wurde in dieser Zeit die biologische Entwicklung im See noch sehr gebremst, denn die Temperaturen lagen weiterhin ziemlich tief und jeder Tag brachte Niederschlag. Erst mit Beginn des Juli wurde es entschieden wärmer und die Niederschläge ließen nach.

Die pH-Verhältnisse zeigen seit der letzten Beobachtung nur am Seegrund eine Änderung, wo sie auf 7,6 gesunken sind. Dies läßt für die Karbonatverteilung eine ähnliche Entwicklung vermuten. Die Sichttiefe hat sich auf 1,5 m verringert.

20. Beobachtung: Die Erwärmung des Epilimniums ist bis zum 21. 7. weiter fortgeschritten um durchschnittlich 3°. Die Temperatur der Oberfläche bleibt zwar etwas hinter dem letzten Wert zurück, daran hat jedoch nur der am Beobachtungstag herrschende mäßige NW-Wind schuld, der die oberste Meterschicht durchmischte. Die Sprungschicht hat ihre Lage beibehalten, ist aber bei einem durchschnittlichen Gradienten von $10^{\circ}/5\text{ m} = 2^{\circ}/1\text{ m}$ wesentlich schärfer vom Epilimnium getrennt, als zwei Wochen zuvor. Ab 15 m hat sich die Temperatur des Hypolimniums etwas verringert.

Ein Blick auf die Ergebnisse vom 23. 7. des Vorjahres bestätigt die bisherigen Ergebnisse. Im Epilimnium zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede. Das Metalimnium ist weiterhin schärfer ausgeprägt als im Vorjahr. Im beginnenden Hypolimnium dagegen haben sich die Unterschiede noch vergrößert. Vor einem Jahr lag die Temperatur in 20 m Tiefe um 1,9° höher als in diesem Jahr, in 15 m beträgt der Unterschied sogar 2,3° C. Noch in 50 m Tiefe ist es dieses Jahr merklich kälter als im Vorjahr. Es zeigt sich also, daß auch der Juli, der zwar um 0,3° wärmer, dagegen aber merklich windärmer war, als im Vorjahr, die schon bei der letzten Beobachtung aufgezeigten Unterschiede zwischen den beiden Jahren nicht mehr ausgleichen konnte. Die Unterschiede vergrößerten sich sogar noch etwas entsprechend den schwächeren Winden in diesem Jahr.

Die Sauerstoffmengen sind im ganzen Seebereich gesunken. Auffallend sind jedoch vor allem die Verhältnisse im Epilimnium. Dort ergibt sich für die Jahreszeit ein ungewöhnlich ausgeglichenes Bild entsprechend den Temperaturen. Nur eine kleine Schwankung in 3 m Tiefe erinnert noch an das 14 Tage zuvor mächtig ausgeprägte Maximum. Der 0- bis 8-m-Bereich zeigt nur noch eine Übersättigung von etwa 110% trotz weiter angestiegener Temperaturen. Zwischen 8 und 10 m findet sich erstmals ein sehr rascher Abfall der Sauerstoffmengen, der der scharfen Trennung von Epi- und Metalimnium entspricht. Es fehlt jedoch der darunter zu erwartende, ebenso rasche Anstieg. Die Sauerstoffwerte nehmen nur sehr langsam zu, bleiben zwischen 40 und 80 m gleich, um dann gegen den Seegrund hin wieder zu sinken.

Der Karbonatrückgang im Oberflächenwasser hat jedoch weiterhin angehalten. Er ist unter 7,1 mg gesunken. Das Maximum befindet sich weiterhin am Seegrund. Die Durchsichtigkeit des Seewassers hat an diesem Tag den geringsten Wert des Jahres erreicht. Die Sichtscheibe verschwand bereits in 1 m Tiefe.

21. Beobachtung: Die Beobachtung am 9. 8. zeigt bereits einen leichten Temperaturrückgang im Epilimnium. Damit hat sich aber, wie eigentlich erwartet würde, seine Temperatur nicht einheitlicher gestaltet, sondern zeigt noch größere Unterschiede als am 21. 7. Das Metalimnium hat sich zwar etwa 2 m tiefer verlagert, seine Obergrenze ist dafür aber nicht mehr so scharf ausgeprägt. Der obere Bereich des Hypolimniums erwärmte sich geringfügig, ab 35 m Tiefe zeigt sich jedoch keine Veränderung.

Die Hauptänderungen in den Sauerstoffverhältnissen beschränken sich auf die bereits bekannten Regionen des Epi- und Metalimniums und auf den Seegrund. Im Epilimnium hat sich wieder ein hochgelegenes Maximum von 115% in 2 m gebildet. Dann sinken die Werte verhältnismäßig rasch zu einem Minimum zwischen 8 und 14 m ab, um darunter wieder anzusteigen. In 35 m Tiefe zeigt sich ein schwaches Maximum und in 45 m ein ebenso schwaches Minimum. Ab 50 m bleiben die Sauerstoffmengen gleich. Erst unter 80 m macht sich in zunehmendem Maße gegen den Seegrund die Sauerstoffabnahme bemerkbar. Am Seegrund sind in 121 m Tiefe mit 6,9 mg nur noch 56% der Sättigung vorhanden.

22. Beobachtung: Bis zum 4. 9. hat die Abkühlung des Epilimniums bereits weiter angehalten und damit in diesem Jahr früher begonnen als im Vorjahr, wo erst in der zweiten Hälfte des Septembers die Temperaturen im Epilimnium langsam zu sinken begannen. Das Metalimnium ist wieder schärfer gegen das Epilimnium abgegrenzt, hat sich aber eher etwas nach oben verlagert. Das Hypolimnium zeigt keinerlei Veränderung seiner Temperaturverhältnisse, was bedeutet, daß sein oberer Bereich immer noch wesentlich kälter ist, als vor einem Jahr. Es kann jetzt auch nicht mehr erwartet werden, daß der See den Vorsprung des Vorjahres einholt, nachdem er bereits das Maximum der Erwärmung überschritten hat und sich schon wieder in langsamer, wenn auch noch zeitweise unterbrochener Abkühlung befindet.

Erstmals ergibt sich für die Sauerstoffverhältnisse ein sehr schönes Bild der im Vorjahr festgestellten Charakterzüge, also Tendenz zur Übersättigung im Epilimnium und Sauerstoffschwund im Metalimnium. So zeigt das Epilimnium ein einziges, breites Maximum mit der Spitze in 3 m Tiefe. Ab 8 m sinken die Sauerstoffwerte rasch zum Minimum der Sprungschicht in 12,5 m Tiefe und steigen dann wieder bis 20 m ziemlich rasch an. Darunter verlangsamt sich die Sauerstoffzunahme. Ab 80 m sinken die Sauerstoffmengen wie gewöhnlich. Nur am Seegrund ergab sich überraschenderweise ein höherer Sauerstoffwert. Diese vollkommen aus der Regel fallende Erscheinung wiederholt sich zwar bei der folgenden Beobachtung in noch verstärktem Maße, wurde aber weder bei der vorhergehenden Beobachtung vom 9. 8. angedeutet, noch hinterließ sie irgendwelche Spuren bei der späteren Beobachtung vom 9. 10. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß die Sauerstoffmengen im Hypolimnium vom 18. 9. bis 9. 10., also in drei Wochen, von 10 auf 5,5 mg sinken, was zur völligen Sauerstofffreiheit in 6 bis 7 Wochen führen würde, eine Entwicklung also, die mit den bisherigen Ergebnissen unvereinbar ist und sich auch nicht bestätigte, abgesehen von der plötzlichen und uner-

klärlichen Sauerstoffzunahme. Letztere müßte sich dann auch in anderen Seebereichen irgendwie bemerkbar machen und vor allem in den Temperaturverhältnissen angedeutet werden. Beides ist jedoch nicht der Fall. Eine Möglichkeit der Deutung besteht darin, daß der Wassers schöpfer bereits in den oberen Wasserschichten geschlossen wurde. Darauf deuten vor allem die Härtewerte hin. Eine Kontrollprobe wurde nicht entnommen, da die Abweichung erst zu Hause im Labor festgestellt werden konnte.

Der Karbonatgehalt hat an der Oberfläche 6,5 mg/l erreicht. Er ist damit um 1,2 mg/l unter den im April erreichten Höchststand gesunken. Im Hypolimnium zeigt sich keine wesentliche Änderung. Der Karbonatverteilung entsprechend ist der pH-Wert an der Oberfläche bereits auf 8,23 geklettert. Die Sichttiefe hat sich auf 3,5 m vergrößert.

23. Beobachtung: Zwei Wochen später, am 18. 9., ist die Temperatur des Epilimniums erneut ein Stück gesunken. Die Gesamtverhältnisse des Epilimniums sind wieder etwas uneinheitlicher. Von der Oberfläche herrscht mit 16,5° bis 3 m nahezu Homothermie, die sicher durch den starken NO-Wind verursacht wurde, der den ganzen Tag ohne Pause über den See blies. Er schwächte sich kaum unter Windstärke 3 ab, so daß den ganzen Tag über an irgendeiner Stelle des Sees Schaumkämme aufleuchteten. Die Beobachtungen gestalteten sich unter diesen Umständen äußerst schwierig und konnten nur infolge der ausgezeichneten Lage des Bootes mit großer Mühe durchgeführt werden. Unter 3 m Tiefe war die Windeinwirkung zu Ende und es zeigte sich hier ein kleiner Temperatursprung. Dann sinkt die Temperatur langsam weiter bis zur Sprungschicht, die sich wieder etwas tiefer verlagert hat. Auch der obere Bereich des Hypolimniums zeigt eine Erwärmung als Zirkulationsfolge. Vermutlich wurde sie durch eine Schlechtwetterperiode verursacht. Kräftige W-Winde leiteten sie am 12. 9. mit reichlichen Niederschlägen bei kalter Witterung ein. In 20 m Tiefe erhöhte sich die Temperatur um 0,5°, in 30 m um 0,3°. Ab 40 m waren die Verhältnisse weitgehend unverändert.

Für die Sauerstoffverhältnisse bestätigen sich im wesentlichen die bisherigen Ergebnisse. Im Epilimnium haben sich die Sauerstoffmengen etwas ausgeglichen, woran aber neben dem Temperaturrückgang im oberen Seebereich vor allem der an diesem Tage herrschende NO-Wind beteiligt sein dürfte, der bis 5 m Tiefe zu einem völligen Ausgleich der Sauerstoffergebnisse führte. Damit zeigt sich hier eine tiefergreifende Windwirkung als die Temperaturbeobachtung erkennen ließ. Da die Schöpfproben an diesem Tage in den oberen Schichten etwa 4 Stunden nach der Temperaturmessung entnommen wurden, kommt sowohl die weitere Windeinwirkung als auch Seiches für die Erklärung dieser Unterschiede in Frage. Unter 8 m beginnt dann der rasche Abfall zum bekannten, metalimnischen Minimum, das sich seit der letzten Beobachtung auf 15 m Tiefe verlagert und auch an Ausdehnung zugenommen hat. In 15 m sind mit 7,2 mg nur noch knapp 68% der eigentlichen Sättigung vorhanden. Diese Werte steigen dann ziemlich rasch wieder an, zeigen jedoch im oberen Bereich des Hypolimniums die schon bei der vorletzten (nicht aber bei der letzten) Beobachtung festgestellte Schwankung. Sie dürfte wohl auf eine Zirkulationsfolge zurückzuführen sein. Das Minimum liegt diesmal im 40-m-Bereich. Darunter nehmen die Sauerstoffmengen noch etwas zu, gehen dann aber sehr rasch in die bekannten, meist linearen Verhältnisse des mittleren Hypolimniums über. Der untere Seebereich läßt weiter die gegen den Grund

gerichtete Abnahme erkennen, mit Ausnahme der nicht zu wertenden Wasserprobe dicht über dem Seegrund.

Für die Karbonatverhältnisse ergibt sich keine Änderung im Oberflächenwasser, dagegen sind im Hypolimnium die Werte gesunken, in 20 und 40 m um 0,1 mg/l, in 80 m sogar um über 0,2 mg/l. Auch die pH-Ergebnisse haben sich an der Oberfläche nicht geändert. Im 40- und 80-m-Bereich ist ein Rückgang zu verzeichnen, der somit der Karbonatentwicklung nicht entspricht. Die Sichttiefe hat sich mit 3,9 m weiterhin etwas vergrößert seit der letzten Beobachtung.

24. Beobachtung: Das erste schöne Bild der beginnenden herbstlichen Abkühlung liefert die Beobachtung vom 9. 10. Ein mächtig ausgebildetes, homothermes Epilimnium hat die Sprungschicht bis etwa 17 m hinabgedrückt. Als Folge der ruhigen Witterung zeigt die Oberfläche noch schwachen Temperaturanstieg. Auch das Hypolimnium konnte noch geringen Wärmegewinn erzielen, allerdings nur in seinem obersten Bereich. Schon ab 28 m Tiefe hat sich in den vergangenen drei Wochen nichts geändert. Ein Vergleich mit den Vorjahresergebnissen zeigt, daß damals die herbstliche Teilzirkulation begann, jedoch war die Schicht des homothermen Epilimniums um 3 m geringer als dieses Jahr. Dafür war das Hypolimnium von 20 bis 40 m immer noch wärmer als dieses Jahr, obwohl sich die Temperatur dieses Bereiches im letzten Jahr nicht änderte, wogegen sie, wenn auch mit Schwankungen, in diesem Jahr dauernd anstieg.

Die thermischen Vorgänge blieben nicht ohne Wirkung auf die Sauerstoffverhältnisse. So sind im ganzen Epilimnium die Sauerstoffmengen unter die volle Sättigung gesunken. Der absolute Rückgang ist jedoch wesentlich geringer als der prozentuale, da in der Zwischenzeit die Temperaturen ebenso merklich zurückgegangen sind. Die Sauerstoffkurve zeigt im Epilimnium nur noch unbedeutende Ausschläge in positiver oder negativer Richtung. Der steile Abfall zum Minimum der Sprungschicht, das auf 20 m herabgedrückt wurde, blieb jedoch erhalten. In 40 m Tiefe ist das Minimum wieder verschwunden, dagegen hat sich in 50 m ein vor drei Wochen kaum angedeutetes Maximum gebildet. Zwischen 60 und 80 m änderte sich nichts, darunter macht sich in zunehmendem Maße die Sauerstoffzehrung am Seegrund bemerkbar. Dort sind in 124 m Tiefe mit 5,5 mg/l nicht mehr ganz 45% der eigentlich zu erwartenden Sauerstoffmenge vorhanden.

Der Karbonatgehalt des Oberflächenwassers hat bereits wieder etwas zugenommen, liegt aber immer noch 1,0 mg/l unter dem des Wassers vom Seegrund. Dort befindet sich mit 7,6 mg/l das Maximum. Der übrige Seebereich hat sich wieder ausgeglichen. Ebenso ist das pH-Ergebnis von der Seeoberfläche bereits wieder auf 8 zurückgegangen. Das Minimum befindet sich mit $\text{pH} = 7,42$ immer noch am Seegrund. Die Sichttiefe hat sich bereits wieder auf 4,7 m vergrößert.

25. Beobachtung: Die letzte Beobachtung am 16. 11. zeigt bereits große Fortschritte der Herbstabkühlung. Im Epilimnium ist die Temperatur um $5,3^\circ$ auf $8,2^\circ$ gesunken. Das Metalimnium hat seine Lage nahezu beibehalten. Dagegen hat das Hypolimnium zwischen 18 und 30 m bedeutend an Wärme verloren, in 20 m Tiefe z. B. um $1,3^\circ$. Ab 40 m zeigt sich weiterhin keine Veränderung. — Dieses Temperaturbild läßt vermuten, daß sich der See nur durch Konvektion, aber ohne Wind abgekühlt hat. Die meteorologischen Angaben bestätigen dies jedoch nicht ganz. Der 29. 10. und der 5. 11. waren mit einem Tagesmittel von Windstärke 3 recht windig. Ihre Wirkung auf den See beschränkte sich jedoch

anscheinend nur auf das bereits mächtige Epilimnium, ohne daß der darunter liegende Seebereich in Zirkulation geraten wäre. Die übrigen Tage waren wesentlich ruhiger. Dagegen lagen die Temperaturen seit der letzten Beobachtung sehr niedrig. Am 1. und 2. 11. erreichte das Tagesmittel mit $-0,2^{\circ}$ nicht einmal den Gefrierpunkt und an mehreren Tagen war es sogar schon Ende Oktober kaum noch wärmer. Fünf Tage brachten schon Regenfälle mit Schnee vermischt und an zwei Tagen fiel nur Schnee. — Vor einem Jahr, am 12. 11., war das Epilimnium noch um $1,4^{\circ}$ wärmer und hatte dazu noch eine größere Mächtigkeit. Auch im beginnenden Hypolimnium lagen die Temperaturen noch höher, z. B. beträgt der Unterschied in 20 m Tiefe $1,9^{\circ}$. Der See hatte also um diese Zeit des Vorjahres noch wesentlich mehr Wärme gespeichert.

Als Folge der lebhaften Vertikalkonvektion im Epilimnium haben sich die Sauerstoffmengen dort gleichmäßig etwas angehoben. Der Abfall zum metalimnischen Minimum, das unverändert in 20 m Tiefe liegt, hat sich wesentlich verschärft. Darunter sind in allen Bereichen die Sauerstoffmengen etwas gesunken. Die Verhältnisse im oberen Bereich des Hypolimniums haben sich wieder ausgeglichen. Auch dies spricht dafür, daß die Zirkulation im See seit der letzten Beobachtung wenig ausgeprägt war. Das Maximum in 50 m Tiefe ist verschwunden. Von 40 bis 80 m zeigen die Sauerstoffmengen kaum Unterschiede. Darunter macht sich in zunehmendem Maße der Sauerstoffschwund des Tiefenbereiches bemerkbar. Am Seegrund in 123 m Tiefe hat die Sauerstoffzehrung nur noch knapp $3,5 \text{ mg/l}$ also 28% des Sättigungswertes übriggelassen.

Das Oberflächenwasser zeigt bereits mit $0,3 \text{ mg/l}$ eine beträchtliche Karbonatzunahme. Dagegen hat sich der pH-Wert nicht verändert. In 20 und 40 m Tiefe ist die Karbonatmenge um über $0,1 \text{ mg/l}$ gesunken. Am Seegrund läßt sich seit der letzten Beobachtung eine noch leicht steigende Tendenz erkennen, während sich die pH-Werte bereits langsam wieder vom Neutralpunkt entfernen. Die Durchsichtigkeit des Seewassers erreichte an diesem Tage ihren höchsten Wert seit den Beobachtungen im Mai.

b) Ergebnisse der Beobachtungen.

α) Temperatur:

Eine kurze Zusammenfassung des Temperaturgeschehens im See während der Beobachtungszeit dürfte durch die bereits weiter oben beschriebene Isoplethendarstellung wesentlich erleichtert werden (s. Abb. 14). Es zeigen sich dabei bedeutende Unterschiede, wenn der große Temperaturgang in beiden Jahren betrachtet wird. Dieser ist wichtig, da er die biologischen Verhältnisse mitbestimmt und damit auch die Sauerstoffentwicklung, deren Untersuchung das Hauptziel dieser Arbeit ist.

Die Erwärmung des Sees setzte im zweiten Jahr später ein, als im ersten, verursacht durch die starke Winterabkühlung. Das an Mächtigkeit unveränderte Epilimnium des ersten Beobachtungsjahres zeigt eine bis Mitte September anhaltende Erwärmung, während im folgenden Jahr bereits Ende Juli trotz weiterer Mächtigkeitszunahme leichter Temperaturrückgang bemerkbar ist. Die während der Sommermonate 1955 unveränderte Mächtigkeit des Epilimniums spricht für einen ruhigeren Witterungsablauf als die laufend zunehmende des zweiten Jahres. Weiter zeigt das obere Hypolimnium wesentlich tiefere Temperaturen. So pendelte

die 5°-Kurve im Vorjahr von Juni an im 35- bis 40-m-Bereich, um Ende November bis etwa 60 m abzusinken, während sie im folgenden Jahr die 30-m-Grenze nur kurzzeitig im September unterschreitet. Diese bereits weiter oben gewürdigte Tatsache zeigt, welche Bedeutung der Witterungsablauf während der Frühjahrs-erwärmung im See für das ganze Jahr haben kann. Im Mai 1955 war es wesentlich windiger. Der obere Seebereich wurde somit häufig durchmischt und damit wärmeres Wasser mechanisch in tiefere Lagen befördert. Im Mai 1956 dagegen war es vor allem am Ende bereits recht warm. Es wehten nur leichte Winde aus wechselnden Richtungen. Das erwärmte Wasser blieb damit an der Oberfläche. Das obere Hypolimnium war daher Ende Mai wesentlich kälter als im Vorjahr. Dieser Unterschied konnte das ganze Jahr über nicht mehr ausgeglichen werden, obwohl die Sommermonate 1956 viel windreicher waren als im Vorjahr. Der obere Seebereich wurde daher immer wieder in Zirkulation versetzt. Dafür spricht auch das im zweiten Jahr nur halb so mächtige Epilimnium, das aber um so schärfer ausgeprägt war. Weiterhin verlagerte es sich mit einer kurzen Unterbrechung im August immer tiefer, während es im Vorjahr von Juni bis Ende September seine Lage nahezu beibehielt.

Die unregelmäßigen Temperaturschwankungen des oberen Hypolimniums, die auf Temperaturseiches oder auf Zirkulationsfolgen zurückzuführen sind, sollen hier unberücksichtigt bleiben. Ihre endgültige Deutung würde zahlreichere Temperaturmessungen in kurzen Zeitabschnitten erfordern und ist außerdem für die Fragestellung dieser Arbeit ohne große Bedeutung.

β) Sichttiefen:

Die Beobachtungsergebnisse sind in Tabelle 7 angeführt und zur leichteren Überschaubarkeit in Abb. 15 graphisch dargestellt. Wenn sie sich auch leider nur über ein Sommerhalbjahr erstrecken, so genügt dies doch für die Fragestellung dieser Arbeit, denn biologische Unterschiede zeigen sich hauptsächlich im Sommer. Im Mai lag die Sichttiefe noch bei 5,5 m, ging dann aber rasch zurück und erreichte am 21. Juli das Minimum von nur 1 m. Etwas sprunghaft sank sie dann bis August auf 3 m, um von hier aus zunächst sehr langsam, dann immer rascher abzusinken. Am 16. November verschwand die Sichtscheibe erst in 7,8 m Tiefe. Diese Ergebnisse zeigen zwar eine Übereinstimmung mit der bisher bekannten Tatsache, daß die Sichttiefe in unseren obb. Seen im Winter am größten und im Sommer am geringsten ist. Der große Unterschied zwischen Sommer und Herbst läßt jedoch auf eine rege Planktonentwicklung in den Sommermonaten schließen. Die Bestätigung dafür bringen die Sauerstoffergebnisse.

Tabelle 7: Sichttiefen am Würmsee in der Beobachtungszeit vom Sommer 1956

Datum	Tiefe (m)
14. 5.	5,5
27. 5.	3,5
8. 7.	1,5
21. 7.	1,0
9. 8.	3,0
4. 9.	3,5
18. 9.	3,9
9. 10.	4,7
16. 11.	7,8

γ) Sauerstoff:

Mit der Beobachtung vom 15. 11. 1956, die kurz vor dem Ende der sommerlichen Schichtung im See gemacht wurde und damit auch nahezu das Endstadium der sommerlichen Sauerstoffverhältnisse zeigt, wurde die Untersuchungsreihe

beendet. Eine kurze Zusammenfassung der Beobachtungsergebnisse in den beiden Jahren ergibt folgendes:

Nach Beendigung der Frühjahrszirkulation ist das Wasser des Sees in allen Tiefenbereichen ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Bald jedoch nach Ausbildung der sommerlichen Stratifikation erscheinen neue Merkmale in den Sauerstoffverhältnissen. Das Epilimnium zeigt mehr und mehr die Tendenz zur Übersättigung mit Sauerstoff, die, nicht wie in oligotrophen Seen, durch die steigende Temperatur verursacht wird, sondern durch eine absolute Sauerstoffzunahme in diesem Bereich. Als Ursache können nur die hier lebenden, pflanzlichen Organismen in Frage kommen. Es bilden sich dabei oft eng begrenzte Maxima, die Übersättigungen von z. B. 134% am 12. 9. 55 mit 11,77 mg/l oder 136% am 8. 7. 1956 mit 12,89 mg/l erreichen können. Im zweiten Jahr tritt die Übersättigung im Epilimnium sogar früher auf als im ersten. Ein nächstes Merkmal ist der Sauerstoffschwund im darunterliegenden Metalimnium. Er tritt nur in Verbindung mit der Übersättigung im Epilimnium auf. Diese Erscheinung wird meist so erklärt, daß sich im Bereich der Sprungschicht die zu Boden sinkenden, toten Organismen infolge der dort herrschenden, stabilen Schichtung viel länger aufhalten als in den anderen Seebereichen und so zu einer vermehrten Sauerstoffzehrung führen. Das dritte, nicht zum oligotrophen Seetyp passende Merkmal ist die verstärkte Sauerstoffzehrung am Seegrund, z. B. ergibt die letzte Beobachtung am 16. 11. ein Minimum von 3,5 mg/l gleich 28% der Sättigung. Im Vorjahr wurde als geringster Wert am 12. 11. noch 4,1 mg/l gleich 33,5% festgestellt.

Diese Werte liegen also weit unter dem für oligotrophe Seen geforderten Minimum von 70%, das im Jahre 1955 vom 20. 8. bis einschließlich 20. 12. und im Jahre 1956 vom 8. 7. bis einschließlich 16. 11. am Seegrund unterschritten wird. Sogar in 100 m Tiefe sinkt die Sauerstoffmenge bereits längere Zeit unter diese für oligotrophe Seen geforderte Mindestgrenze (s. Abb. 16).

Diese Merkmale sind noch um so höher zu bewerten, als der See, wie bereits erwähnt, auf Grund seiner Morphologie und auch seines Alters, eindeutig zu den oligotrophen Seen zählen würde, z.B. soll nach THIENEMANN (1928, S. 136) das Volumen des Epilimniums in einem eutrophen See mindestens 50% des Gesamtvolumens ausmachen. Im Würmsee dagegen erreicht das Epilimnium nur $\frac{1}{7}$ der gesamten Wassermassen des Sees. Wenn sich nun trotzdem so stark eutrophe Merkmale wie am Würmsee zeigen, so haben sie eine um so größere Bedeutung, als sie sich trotz dieser „sehr ungünstigen“ Verhältnisse ausbilden konnten. Daß diese Veränderungen nicht natürlicher Art sind, zeigt sehr deutlich die noch heute an den einstigen, oligotrophen See erinnernde Zone zwischen etwa 40 und 90 m, die ihre oligotrophen Merkmale noch weitgehend bewahrt hat.

δ) Wasserhärte (Karbonathärte):

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die Karbonathärte geschieht wohl am besten dadurch, daß man die Werte von der Seeoberfläche und vom Seegrund betrachtet, denn sie zeigen im Jahresablauf die größeren Veränderungen, während der dazwischen liegende Bereich sich das ganze Jahr über nur wenig ändert und kaum Unterschiede bringt. Ihr Verlauf wurde in Abb. 16 graphisch dargestellt und ist in Tab. 8 aufgeführt.

Es ergibt sich ein bedeutender Unterschied zwischen den beiden Jahren. Während 1955 im Wasser des Seegrundes eine dauernde Anreicherung mit Karbonat

Tabelle 8: Karbonathärte, Gesamthärte und pH-Werte für die Zeit der Wülmseebeobachtungen von 1955 und 1956 (zu S. 52)

Datum Tiefe (m)	17. 6.	9. 7.	23. 7.	20. 8.	12. 9.	25. 9.	12. 10.	12. 11.	26. 11.	20. 12.	
0	8,73	7,50	7,56	7,36	7,36	7,08	7,08	7,39	7,34	7,36	
20	7,73	7,64	7,59	7,67	7,56	7,90	7,45	7,36	7,42	7,42	
40	—	7,53	—	7,53	7,64	7,70	7,48	7,53	7,45	7,31	
80	7,50	7,56	7,59	7,53	7,56	7,56	7,56	7,59	7,36	7,39	
Seegrnd. (m)	7,65 (126)	7,56 (126)	7,76 (121,5)	7,62 (117,5)	7,67 (116,7)	7,84 (125,2)	7,78 (123,2)	7,90 (126,2)	7,70 (125,4)	7,62 (123)	
0	8,00	7,88	7,81	7,61	7,58	7,48	7,63	7,73	7,90	7,98	
20	8,05	8,01	8,08	8,04	7,94	7,97	7,94	7,97	7,82	7,94	
40	—	8,04	—	8,08	7,97	7,97	7,92	7,94	7,98	7,91	
80	8,05	8,06	8,05	8,15	7,97	7,98	8,00	8,05	8,05	8,01	
Seegrnd. (m)	8,05 (126)	8,10 (126)	8,10 (121,5)	8,15 (117,5)	8,02 (116,7)	8,14 (125,2)	8,23 (123,2)	8,32 (126,2)	8,25 (125,4)	8,15 (123)	
0	—	—	—	—	8,25	8,45	8,25	8,10	7,85	7,82	
20	—	—	—	—	7,83	7,78	7,80	7,79	7,75	7,81	
40	—	—	—	—	7,81	7,80	7,78	7,78	7,70	7,76	
80	—	—	—	—	7,80	7,80	7,75	7,73	7,62	7,63	
Seegrnd. (m)	—	—	—	—	7,60 (116,7)	7,45 (125,2)	7,42 (123,2)	7,45 (126,2)	7,37 (125,4)	7,55 (123)	
Datum Tiefe (m)	15. 1.	21. 3.	24. 4.	14. 5.	27. 5.	8. 7.	21. 7.	4. 9.	18. 9.	9. 10.	16.11.
0	7,48	7,42	7,73	7,45	7,36	—	7,06	6,50	6,52	6,61	6,92
20	7,45	7,56	7,62	7,50	7,45	—	—	7,42	7,25	7,34	7,17
40	7,45	7,53	7,56	7,39	7,42	—	7,56	7,48	7,36	7,36	7,20
80	7,59	7,42	7,56	7,53	7,50	—	7,50	7,36	7,14	7,42	7,36
Seegrnd. (m)	7,53 (120,2)	7,42 (126,2)	7,56 (124,6)	7,64 (119,6)	7,64 (116,9)	—	7,62 (122)	(6,72) (126)	(6,58) (122)	7,56 (124,1)	7,63 (123,3)
0	8,04	8,16	8,10	8,02	7,97	7,50	7,70	7,28	7,42	7,45	7,70
20	7,99	8,06	8,10	8,03	8,08	8,17	—	8,16	8,15	8,18	8,10
40	8,01	8,13	8,03	8,08	8,08	8,11	8,28	8,21	8,22	8,20	8,15
80	8,02	8,11	8,10	8,10	8,07	8,16	8,20	8,25	8,28	8,32	8,25
Seegrnd. (m)	8,07 (120,2)	8,12 (126,2)	8,15 (124,6)	8,20 (119,6)	8,15 (116,9)	8,25 (125,4)	8,32 (122)	(7,35) (126)	(7,50) (122)	8,40 (124,1)	8,43 (123,3)
0	7,78	7,80	7,63	7,97	8,17	8,18	—	8,23	8,24	8,01	8,02
20	7,78	7,82	7,60	7,83	7,81	7,81	—	7,58	7,62	7,60	7,70
40	7,77	7,83	7,60	7,82	7,82	7,80	—	7,70	7,63	7,65	7,77
80	7,70	7,82	7,62	7,81	7,84	7,80	—	7,75	7,65	7,65	7,75
Seegrnd. (m)	7,63 (120,2)	7,75 (126,2)	7,50 (124,6)	7,67 (119,6)	7,73 (116,9)	7,62 (125,4)	—	(8,02) (126)	(8,18) (122)	7,42 (124,1)	7,45 (123,3)

beobachtet werden konnte, trat sie im folgenden Jahr nur in den Monaten März bis Mai auf und fehlte dann fast ganz. Im Epilimnium dagegen war in beiden Jahren deutlich ein Rückgang der Karbonatmenge im Sommer zu beobachten, der eigenartigerweise gerade im zweiten Jahr wesentlich größer war als im ersten. Damit zeigt sich also, daß die Verhältnisse von Oberfläche und Grund nicht immer übereinstimmen müssen. Die rasche und kurzzeitige Zunahme des Karbonatgehaltes an der Oberfläche im März und April könnte nur durch umfangreichere Untersuchungen, als dies im Rahmen dieser Arbeit möglich war, geklärt werden.

Schließt man nun von den Karbonatergebnissen über die CO_2 -Verhältnisse auf die Sauerstoffvorgänge, so würde dies zu einigen falschen Resultaten führen, obwohl bekannt ist, daß sie chemisch miteinander in enger Verbindung stehen. WILHELM schreibt 1954: „Darüber hinaus sind der Sauerstoffgehalt und die Karbonathärte auch in chem. Hinsicht kausal miteinander verknüpft. Denn es ist eine bekannte Tatsache, daß Kalziumkarbonat bei Zufuhr von Sauerstoff gefällt wird. Das bedeutet, daß einem Maximum des Sauerstoffgehaltes ein Minimum der Karbonathärte entspricht.“ (S. 69.) Eine Abweichung von dieser Regel zeigt der Verlauf der Karbonathärten im März und April 1956 und vor allem der Verlauf der Karbonatkurve vom Seegrund im Sommer 1956. Sie ergibt im Gegensatz zu den Vorjahresergebnissen nahezu keine Veränderung, obwohl gerade in diesem Jahr die Sauerstoffzehrung am Seegrund früher einsetzte und stärker war als ein Jahr zuvor. Weiterhin sind die Ausschläge der Kurven wesentlich geringer als die für die Sauerstoffwerte wie Abb. 16 zeigt. Wenn dabei auch, wie bei der Beurteilung der Sauerstoffergebnisse, zu berücksichtigen ist, daß einem verhältnismäßig kleinen Epilimnium ein großes Hypolimnium gegenübersteht und deshalb die dortigen Veränderungen viel stärker bewertet werden müssen, so unterstreicht dies andererseits doch den unbestritten überragenden Wert der Sauerstoffbestimmung zur Trophiefrage.

e) Wasserhärte (Gesamthärte):

Die Ergebnisse der Härtebestimmungen sind aus der Tabelle 8 ersichtlich. Es zeigt sich dabei, daß die Werte um 8 deutsche Härtegrade ($^{\circ}\text{dGH}$) schwanken. Die Änderungen im Jahresverlauf sowie die Unterschiede zwischen Oberflächenwasser und dem der tiefen Seebereiche werden zum größten Teil durch die Schwankungen der Karbonathärte verursacht, die mehr als 90% der Gesamthärte ausmacht. Nur von März bis April zeigt sich von dieser Regel eine Abweichung, weil die Gesamthärte unverändert bleibt, während die Karbonathärte vor allem an der Seeoberfläche rasch zunimmt. Außerdem steigt die Gesamthärte am Seegrund im Juni weiter, während sich die Karbonathärte nicht verändert. Trotzdem scheint die Nichtkarbonathärte ohne besondere Bedeutung für das Seewasser zu sein, das auf Grund seiner 8 Härtegrade nach OLSZEWSKY (1945) an der Grenze zwischen weichem und mittelhartem Wasser steht.

ξ) pH-Werte:

Werden die pH-Werte des Seewassers bei Beendigung der Frühjahrszirkulation als Mittel- oder Normalwert angenommen, der etwa bei $\text{pH} = 7,8$ liegen dürfte, so ergibt sich folgendes: Im oberen und mittleren Bereich des Hypolimniums werden diese „Normalverhältnisse“ das ganze Jahr über nur wenig gestört. Dagegen macht sich im Sommer und Herbst im Tiefenbereich des Hypolimniums vor allem nahe dem Seegrund eine zum sauren Bereich tendierende Entwicklung

bemerkbar, während sich im Epilimnium an der Seeoberfläche eine gegenläufige Entwicklung anzeigt, z. B. ergibt sich am 25. 8. 1955 ein pH von fast 8,5, während am Seegrund gleichzeitig knapp 7,5 anzutreffen sind. Am 12. 10. 1955 hat sich die Wasserstoffionenkonzentration noch weiter auf 7,4 verschoben. Auch im Sommer des zweiten Beobachtungsjahres zeigen die pH-Werte am Seegrund eine Annäherung zum Neutralpunkt und weichen damit von den Karbonatverhältnissen ab, die keine Veränderung ergaben. Demgegenüber spiegelt sich die Zunahme der Karbonatmengen im März und April dieses Jahres sehr deutlich auch in den pH-Werten wider.

Damit zeigt sich, daß die pH-Werte besser über die CO_2 -Verhältnisse auf die Sauerstoffvorgänge schließen lassen, als dies auf Grund der Karbonatergebnisse möglich war. Dies erklärt sich vielleicht damit, daß CO_2 -Änderungen unmittelbar die pH-Werte beeinflussen, während ein CO_2 -Überschuß nur dann zur Bikarbonatanreicherung führen kann, wenn die Möglichkeit besteht, Kalk zu lösen.

c) Die aus den Beobachtungen abgeleiteten Wasserbewegungen.

Bei den obigen Besprechungen ergaben sich immer wieder Beispiele dafür, daß das biologisch-physikalische Geschehen im See durch Zirkulationen und Zirkulationssysteme beeinflusst wird. Beispiele dafür sind:

1. Die verschiedenen Sauerstoffverhältnisse des Epilimniums in beiden Jahren. Im ersten Jahr treten mehrere engräumige Maxima auf, entsprechend den Schichtungen des Planktons (s. Beob. v. 23. 7. 1955; 12. 9. 1955). Im zweiten Beobachtungsjahr dagegen ist meist nur ein weiträumiges Maximum im Epilimnium entwickelt (s. Beob. v. 27. 5.; 8. 7.; 9. 8.; 4. 9. 1956). Diese Beobachtung entspricht genau dem Witterungsablauf beider Jahre (s.: B, I, 1.). Im windarmen Sommer 1955 wurde das Epilimnium seltener durchmischt. Es konnten sich mehrere Planktonschichten ausbilden. Das zweite Jahr brachte meist lebhaftere Zirkulation im Epilimnium (s.: Tiefervandern der Sprungschicht II, 2, b, a). Die Plankter verteilen sich daher auf einen größeren Raum.

2. Das Sauerstoffminimum im Metalimnium wird durch ein sekundäres Zirkulationssystem teilweise in den oberen hypolimnischen Bereich übertragen, wodurch der Anstieg vom Sprungschichtminimum zum großräumigen Sauerstoffmaximum des Hypolimniums verzögert wird (s. Beob. v. 23. 7. 1955; 25. 9. 1955; 30. 10. 1955; 18. 9. 1956). Dasselbe Zirkulationssystem bewirkt auch die Temperaturzu- und -abnahme in diesem Bereich des oberen Hypolimniums. Es darf angenommen werden, daß von dieser Zirkulation noch eine weitere, wenn auch bereits recht schwache, angeregt wird, die vom oberen Bereich des Hypolimniums am Rande des Seebeckens bis zum Seegrund schreitet. Diese Zirkulation dürfte die sehr schwache Wärmezunahme am Seegrund im Laufe des Sommers bewirken.

Wird dieses Zirkulationssystem in einem Seequerschnitt dargestellt, so die Beobachtungsstation in der Hauptwindrichtung (W — E) schneidet, der ergibt sich Abb. 17. Sie wurde nach den Beobachtungsergebnissen vom 25. 9. 1955 aufgestellt und entspricht ungefähr auch denen vom 23. 7. des gleichen Jahres. Die Abbildung zeigt drei Zirkulationssysteme, die sich entsprechend den Jahreszeiten verändern können oder auch, wenn die Anregung durch Windeinwirkung fehlt, ganz aufhören. Zur Bedeutung der in dieser Abbildung gezeigten Terrasse für die Seezirkulation sei noch vermerkt, daß sie sich lediglich über etwa zwei Kilometer im Gebiet der Roseninsel am Westufer entlang zieht, während das übrige See-

becken sehr einfach gebaut ist. Sie dürfte somit nur einen lokalen Einfluß auf die Seezirkulation ausüben. Weiter ist zu bemerken, daß dieses Schema nach den bis heute in der Literatur meist vertretenen Ansichten über Schrägstellung der Sprungschicht usw. gezeichnet wurde. Daß auch diese Annahmen heute einer Überprüfung bedürfen, zeigen die sehr interessanten Zirkulationsbeobachtungen am Schliersee, die WILHELM 1956 dort anstellte. Die Sprungschicht zeigte hier weniger eine Schrägstellung, als vielmehr eine sehr beachtliche Ausbuchtung am Stauufer. Ob ähnliche Erscheinungen auch am Würmseestausee auftreten, könnte nur durch großräumige und zahlreichere Untersuchungen festgestellt werden, die mir jedoch mit den zur Verfügung stehenden Mitteln völlig unmöglich waren.

Daß sich das besprochene Zirkulationsschema der Abb. 17 entsprechend den jahreszeitlichen Verhältnissen im See verändern kann, wurde bereits angedeutet. Am 20. 12. 1955 z. B. sind nur mehr zwei Zirkulationssysteme im See anzunehmen. Noch später werden sie von der Vollzirkulation abgelöst, die sich als einheitliches System über den ganzen Seebereich erstreckt.

3. Der Ammersee.

a) Diskussion aller Kurven der einzelnen Beobachtungstage.

Die zur Diskussion stehenden Kurven sind das Ergebnis von Beobachtungen am Ammersee in der Zeit von Oktober 1955 bis November 1956. Als Beobachtungsstation war die Gegend der größten Seetiefe etwa auf der Linie Herrsching—Riederau gewählt. Die Gewinnung des Beobachtungsmaterials wurde weiter oben unter B, II, 1, beschrieben. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 9 u. 10 enthalten und in Abb. 18—20 graphisch dargestellt.

Tabelle 9: Temperaturgang am Ammersee in der Beobachtungszeit vom 13. 10. 1955 bis 15. 11. 1956 (zu S. 58—66)

Dat. Tiefe (m)	13. 10.	3. 11.	21. 11.	19. 12.	29. 1.	4. 5.	15. 5.	29. 5.	5. 7.	2. 9.	20. 9.	10. 10.	15. 11.
0	13,1	9,6	7,9	4,9	3,7	8,0	10,7	17,4	16,8	17,6	17,3	13,3	7,8
1	13,03	9,58	7,87	4,91	3,73	6,48	9,24	16,21	16,24	17,30	16,80	13,24	7,87
2	12,94	9,50	—	4,92	3,72	5,96	8,77	15,54	16,11	17,17	16,13	13,06	—
3	12,78	9,48	7,86	—	3,74	5,87	8,38	15,08	15,80	16,58	16,01	13,02	7,78
4	12,72	9,48	—	—	—	5,80	8,23	14,68	15,38	16,41	15,88	13,00	—
5	12,72	9,48	—	4,91	3,72	—	7,79	13,97	14,70	16,36	15,88	13,00	—
6	12,70	9,48	7,86	—	—	5,71	7,75	11,94	14,17	16,29	15,83	12,98	—
7	12,69	9,47	—	—	—	—	7,64	11,73	13,39	16,22	15,81	12,98	7,78
8	12,69	9,47	—	—	—	5,30	7,30	10,71	11,77	16,18	15,79	12,98	—
10	12,66	9,46	7,86	4,92	3,74	5,18	6,08	8,71	9,65	15,99	15,47	12,98	—
12,5	12,49	9,46	7,86	—	—	5,11	5,84	6,80	6,91	12,14	13,99	12,96	7,78
15	9,56	9,42	7,86	—	—	5,06	5,45	5,88	6,65	8,81	9,74	9,78	7,78
20	7,64	8,38	7,86	4,92	3,76	4,88	4,90	5,32	5,75	6,64	6,95	6,95	6,37
25	6,56	6,65	7,56	—	—	—	4,78	4,94	5,05	5,68	5,75	5,67	5,62
30	5,98	5,83	5,86	4,91	3,78	4,37	4,59	4,71	4,67	4,98	5,13	5,16	5,02
35	5,46	5,21	5,29	—	—	—	—	—	4,53	4,50	4,75	4,75	4,75
40	4,93	4,98	4,98	4,90	3,79	4,07	4,38	4,44	4,52	4,28	4,41	4,51	4,54
50	4,37	4,38	4,48	4,90	3,79	—	4,35	4,26	4,14	4,12	4,15	4,16	4,23
60	4,21	4,18	4,25	4,83	3,80	3,99	4,20	4,08	4,15	4,14	4,08	4,15	4,15
Seegr. d. (m)	4,11 (76,5)	4,11 (77,4)	4,10 (77,8)	4,32 (78)	3,80 (78)	3,95 (79)	3,98 (79,5)	4,05 (75)	4,07 (78,3)	4,08 (79,8)	4,07 (79)	4,09 (79,8)	4,09 (79,5)

Tabelle 10: Werte der Sauerstoffbeobachtungen vom Ammersee für die Zeit
vom 13. 10. 1955 bis 15. 11. 1956 (zu S. 58 -66)

Dat.	13. 10.		3. 11.		21. 11.		19. 12.		29. 1.		4. 5.	
Tiefe (m)	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
0	9,44	94,5	9,83	91,0	9,60	85,4	9,43	78,0	10,67	85,5	—	—
1	9,36	93,6	9,80	90,8	9,49	84,5	9,38	77,5	10,57	84,7	12,61	108,6
2	9,33	93,1	9,81	90,7	9,55	85,0	9,33	77,1	10,61	85,1	12,65	107,6
3	9,40	93,5	9,79	90,5	9,53	84,9	9,45	78,1	10,61	85,1	12,62	107,1
4	9,46	93,9	9,75	90,1	9,49	84,5	9,34	77,2	10,64	85,3	12,52	105,9
5	9,29	92,2	9,72	89,9	9,50	84,6	9,52	78,7	10,58	85,6	12,53	106,0
6	9,24	91,7	9,75	90,1	9,56	85,1	9,70	80,2	10,66	85,5	13,42	113,2
7	9,12	90,6	9,77	90,3	9,51	84,7	9,40	77,7	10,69	85,7	12,50	105,0
8	10,64	105,6	9,69	89,6	9,48	84,4	9,56	79,0	10,67	85,5	12,56	104,9
10	9,31	92,4	9,84	91,0	9,58	85,3	9,44	78,0	—	—	12,37	103,1
12,5	9,04	89,5	9,70	89,7	9,48	84,4	9,51	78,6	10,60	85,0	12,40	103,0
15	6,90	63,9	9,70	89,5	9,56	85,1	9,59	79,3	10,63	85,4	—	—
20	8,36	73,9	9,11	82,1	9,43	84,0	9,34	77,2	10,65	85,6	12,40	102,5
25	8,10	78,5	8,57	74,0	9,03	79,8	9,42	77,9	10,55	84,8	12,21	100,2
30	9,34	78,4	8,99	76,0	8,73	74,1	9,34	77,2	10,49	84,3	12,22	99,5
35	9,80	82,3	9,65	80,4	10,50	87,7	—	—	—	—	—	—
40	10,20	84,3	9,91	82,1	9,35	77,5	9,32	77,0	10,54	84,7	12,16	98,5
50	10,62	86,6	10,82	88,3	9,90	81,0	9,30	76,9	10,53	84,6	12,24	98,9
60	10,04	81,5	9,68	78,6	8,94	72,8	8,85	72,9	10,68	85,8	12,32	99,5
Seegr. d. (m)	7,13	57,7	6,54	53,0	5,20	42,1	6,85	55,8	10,57	84,9	12,15	98,1
	(76,5)		(77,4)		(77,8)		(78)		(78)		(79)	

Dat.	15. 5.		29. 5.		5. 7.		2. 9.		20. 9.		10. 10.		15. 11.	
Tiefe (m)	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
0	11,36	108,0	11,43	125,3	9,96	107,9	8,97	98,8	9,29	101,8	9,43	94,9	10,14	90,1
1	11,59	106,3	11,75	125,6	9,89	105,7	9,13	99,9	9,36	101,4	9,32	93,6	10,09	89,6
2	11,58	105,3	12,03	126,8	10,00	106,7	9,23	100,8	9,48	101,1	9,36	93,7	10,16	90,2
3	11,59	104,4	11,92	124,5	9,88	104,8	9,26	99,9	9,71	103,4	9,38	93,8	10,16	90,2
4	11,46	102,7	11,84	122,7	9,83	103,3	8,85	95,0	9,36	99,5	9,38	93,8	10,43	92,6
5	12,69	112,7	11,51	117,6	9,64	99,9	8,84	94,9	9,37	99,6	9,41	94,1	10,03	89,1
6	12,83	114,0	11,33	110,5	9,47	97,1	8,73	93,5	9,22	97,7	9,19	91,9	10,17	90,3
7	13,18	116,5	11,86	115,2	10,28	103,6	8,76	93,6	9,38	99,5	9,34	93,4	10,13	90,0
8	12,60	110,6	11,31	107,5	9,39	91,4	8,49	90,8	9,32	98,8	9,32	93,2	10,12	89,9
10	12,68	108,1	11,53	104,6	9,58	89,0	8,37	89,1	9,17	96,7	9,38	93,8	10,22	90,8
12,5	12,53	106,0	11,30	98,0	9,93	86,3	7,99	78,2	8,69	88,8	9,23	92,3	10,11	89,8
15	12,52	105,1	11,30	95,8	9,98	86,3	8,37	76,1	8,23	76,4	7,83	72,9	10,13	90,0
20	12,63	104,4	11,34	94,7	10,29	87,0	9,19	79,3	9,19	80,1	8,80	76,7	8,72	74,9
25	12,57	103,6	11,31	93,5	10,25	85,1	9,69	81,8	9,92	83,9	9,56	80,7	9,14	76,9
30	12,43	102,0	11,28	92,7	10,49	86,2	10,11	83,8	10,14	84,2	9,81	81,7	9,72	80,5
35	12,39	101,4	11,25	92,3	10,35	84,7	10,67	87,3	10,57	87,1	10,33	85,1	9,96	82,1
40	12,47	101,7	11,30	92,2	9,56	78,2	10,98	89,4	—	—	10,51	86,0	10,04	82,2
50	12,45	101,6	11,31	92,1	10,38	84,0	11,16	90,4	—	—	10,83	88,0	10,55	85,7
60	12,61	102,4	11,46	92,8	10,37	84,0	10,40	82,2	9,37	75,9	9,63	78,2	9,55	77,6
Seegr. d. (m)	12,19	98,5	10,77	87,2	9,11	73,8	7,30	59,1	5,56	45,0	6,33	51,3	5,30	42,9
	(79,5)		(75)		(78,3)		(79,8)		(79)		(79,8)		(79,5)	

1. Beobachtung: Die erste Beobachtung am 13. 10. 1955 ergibt das typische Bild einer spätsommerlichen Seeschichtung. Von 0 bis 4 m sinken die Temperaturen noch leicht und deuten auf die vorübergehende Erwärmung der letzten Tage. Darunter aber reicht ein nahezu homothermes Epilimnium mit einer Temperatur von $12,7^{\circ}$ bis etwa 12,5 m Tiefe. Hier setzt sehr starke Temperaturabnahme ein, die sich mit zunehmender Tiefe wieder verlangsamt und unter 50 m immer unmerklicher wird.

Die Sauerstoffverteilung ist völlig anders als man es für einen oligotrophen See erwarten müßte. Infolge der bereits wirksamen Herbstabkühlung haben sich zwar die Sauerstoffmengen im Epilimnium, also bis etwa 12,5 m, weitgehend ausgeglichen. Im 8-m-Bereich jedoch wurde die im Temperaturverlauf angedeutete, kurzzeitige Unterbrechung der Herbstabkühlung, also die Unterbrechung oder zumindest Abschwächung der Konvektionsströmung, von den in dieser Wasserschicht schwimmenden Phytoplanktern dazu benutzt, das Wasser nochmals mit Sauerstoff zu übersättigen. Von 7 auf 8 m nimmt die Sauerstoffmenge um $1,5 \text{ mg/l}$, also 15 Sättigungsprozente zu. Im übrigen Epilimnium schwankt die Sättigung etwas über 90% . Unter 12,5 m, genau mit Beginn der Sprungschicht, sinken die Sauerstoffmengen sehr rasch um 25% zu einem Minimum in 15 m Tiefe ab. Hier sind mit $6,9 \text{ mg/l}$ nur noch 64 Sättigungsprozente vorhanden. Darunter steigen die Sauerstoffmengen mit zunehmender Tiefe zuerst rasch, dann etwas langsamer mit einer schwachen Unterbrechung im 30-m-Bereich, zu einem breiten Maximum in 50 m Tiefe an. Hier enthält das Wasser noch $10,6 \text{ mg/l}$ Sauerstoff. Das sind jedoch der tiefen Temperatur entsprechend nur $86,6\%$ der eigentlichen Sättigung. Unter 50 m gehen die Sauerstoffmengen mit Annäherung an den Seegrund immer mehr zurück. Dort sind in 76,5 m Tiefe mit $7,1 \text{ mg/l}$ noch $57,7\%$ der vollen Sättigung vorhanden. Es zeigen sich also auch hier, wie am Würmsee, vom Seegrund ausgehende Sauerstoffzehrungsvorgänge, die mehr und mehr die darüber lagernde Wassermasse einbeziehen.

2. Beobachtung: Die Temperaturen im See ändern sich bis zur Beobachtung am 3. 11. nur wenig. Das homotherme Epilimnium hat weiter an Mächtigkeit zugenommen und sich bis $9,5^{\circ}$ abgekühlt. Nur die obersten 2 m zeigen noch die Spur der kurzfristigen Erwärmung vom Vortage. Die Sprungschicht wurde auf 19 m herabgedrückt. Ihre Temperaturspannung ist schon sehr begrenzt. Etwa zwischen 27 und 38 m trat leichte Abkühlung im Hypolimnium ein. Darunter ist eine sehr schwache Wärmezunahme als Folge der Sekundärzirkulation erkennbar. Ab 50 m hat sich nichts geändert.

Den Fortschritten der Herbstabkühlung entsprechend haben sich die Sauerstoffverhältnisse im Epilimnium weitgehend ausgeglichen. Das Maximum in 8 m Tiefe ist wieder verschwunden. Bis 15 m liegen die Werte bei $9,7$ bis $9,8 \text{ mg/l}$, was etwa 90% entspricht. Unter fortschreitender Auffüllung ist das metalimnische Maximum auf 25 m herabgedrängt worden. Darunter steigen die Sauerstoffmengen bis 50 m wieder an. Hier liegt wie bei der vorhergehenden Beobachtung das Maximum der Tiefenschicht. Es hat sich noch geringfügig verstärkt, dafür aber etwas zusammengedrängt. Auch die bereits bei der letzten Beobachtung festgestellte, geringe Abnahme im 30-m-Bereich, die wie die Temperaturverteilung auf eine Sekundärzirkulation hinweist, erscheint diesmal 10 m tiefer. Unter 50 m sind die Sauerstoffwerte gleichmäßig gesunken. Am Seegrund in 77 m Tiefe sind noch $6,5 \text{ mg/l}$, also 53 Sättigungsprozente vorhanden.

Für die Karbonatverteilung zeigt sich noch recht schön die sommerliche Schichtung. Der Gehalt des Oberflächenwassers unterscheidet sich von dem des Seegrundes noch um fast 1,0 mg/l. Interessant ist auch hier, daß der Karbonatgehalt in 20 m größer ist, als in 40 und vor allem 60 m, eine Tatsache, die bereits beim Würmsees mehrmals beobachtet wurde. Auch die pH-Werte entsprechen weitgehend dieser Schichtung. An der Oberfläche liegt der pH-Wert noch bei 8 und am Grund sind es nur 7,65, während der übrige See einen pH von über 7,8 aufweist.

3. Beobachtung: Am 21. 11. hat die Mächtigkeit des in Abkühlung befindlichen Epilimniums fast 25 m erreicht. Seine Temperatur beträgt noch 7,9°. Unter 25 m liegt mit stärkerer Temperaturabnahme die Sprungschicht. Im tieferen Bereich zeigt sich außer einer sehr schwachen Erwärmung zwischen 45 und 60 m keine Veränderung. Die Sekundärzirkulation hat sich also weiterhin erhalten.

Die Sauerstoffverhältnisse sind im Epilimnium weiterhin nahezu ausgeglichen und infolge der fortschreitenden Auffüllung des darunterliegenden Minimums etwas gesunken. Letzteres befindet sich jetzt in 30 m Tiefe. Von hier nehmen die Sauerstoffmengen sprunghaft zu einem Maximum in 35 m zu, dem ein etwas schwächeres Minimum in 40 m folgt. — Dieses sprunghaft auftretende Maximum, das bei den vorhergehenden Beobachtungen eventuell durch die kaum merklichen Schwankungen in diesem Tiefenbereich angedeutet wurde, dürfte auf Grund seiner Tiefenlage (35 m, also bereits unter der Sprungschicht) kaum auf Plankton-tätigkeit zurückzuführen sein. Diese kann infolge der tiefen Temperatur und des sehr geschwächten Sonnenlichtes keine solche Intensität mehr erreichen. Als Deutungsmöglichkeit verbleiben sekundäre Strömungen, durch den Wind ausgelöst oder die Durchströmung des Sees von kälterem Flußwasser. — In 50 m Tiefe befindet sich unverändert das alte Maximum mit dem darunter einsetzenden Sauerstoffschwund in Richtung Seegrund, jedoch sind die Sauerstoffmengen von 40 m abwärts um 0,5 bis 1,5 mg/l am Seegrund unter die letzten Ergebnisse gesunken. Die Wasserprobe aus 77,5 m Tiefe enthält mit 5,2 mg/l Sauerstoff nur noch 42,1% der vollen Sättigung. Sie hat damit den tiefsten Wert des Jahres erreicht.

Die anhaltende Konvektionsströmung, die durch Wind aus häufig wechselnder Richtung verstärkt wurde, bewirkte im Epilimnium bereits eine merkliche Karbonatzunahme auf 10 mg/l. Am Seegrund hat sich fast nichts geändert, dagegen ist das vorhergehende Minimum in 60 m Tiefe ganz verschwunden. Demgegenüber haben sich die pH-Ergebnisse seit der letzten Beobachtung fast nicht verändert und gehen damit nicht wie gewöhnlich parallel mit der Karbonatentwicklung.

4. Beobachtung: Die Beobachtung am 19. 12. läßt nichts mehr von der Sommerschichtung erkennen. Bis 50 m Tiefe hat sich der ganze See gleichmäßig auf 4,9° abgekühlt. Darunter zeigt eine leichte Temperaturabnahme gegen den Seegrund, daß die Herbstvollzirkulation noch nicht ganz eingetreten ist, wenn auch in diesem Bereich die Temperaturen bereits etwas angestiegen sind. Sehr schön wird diese Annahme von den Sauerstoffverhältnissen bestätigt.

Die Sauerstoffwerte lassen deutlich die Wirkung des Temperaturgeschehens im See erkennen, wenn sie auch nicht ganz das lineare Verteilungsbild bis 50 m ergeben wie letztere. Bis 30 m Tiefe schwanken die Sauerstoffmengen noch leicht, zeigen dann aber bis 50 m einen geradlinigen Verlauf. Es scheint, daß die im oberen Seebereich lebhaftere Konvektionsströmung die Sauerstoffverhältnisse

etwas unruhiger gestaltet, im Gegensatz zu den Temperaturen, die sich viel rascher ausgleichen können, als dies dem Sauerstoff möglich ist, besonders wenn die Konzentrationsspannung gering ist (s. THIENEMANN 1934, S. 52). Das Maximum der letzten Beobachtung in 35 m Tiefe ist ebenso spurlos verschwunden, wie das konstante Tiefenmaximum in 50 m. Im darunterliegenden Bereich ist zwar noch sehr gut die mit zunehmender Intensität gegen den Seegrund gerichtete Sauerstoffabnahme zu erkennen, jedoch zeigt sich auch hier bereits das Bestreben, die Sauerstoffverluste des Sommers wieder auszugleichen. So sind die Sauerstoffmengen am Seegrund in 77 m um 1,7 mg/l seit der letzten Beobachtung angestiegen.

Das Oberflächenwasser enthält bereits mehr Karbonat als das Seewasser aus 20 m Tiefe. Am Seegrund hat sich noch nichts verändert. Das gleiche gilt für die pH-Ergebnisse. Sie liegen für den ganzen See mit Ausnahme am Grund etwas unter $\text{pH} = 7,9$. Dies deutet wie die obigen Ergebnisse darauf hin, daß noch kein einheitliches Zirkulationssystem im See herrscht.

5. Beobachtung: Ende Januar, am 29. 1. 1956, steht der See an der Schwelle zur Winterstagnation, die schon bald eingeleitet wurde durch den Einbruch einer starken Kältewelle am folgenden Tage. Der ganze See hat sich bereits unter das Dichtemaximum von 4° abgekühlt. An der Oberfläche ergibt sich eine Temperatur von $3,7^\circ$, die kaum merklich bis etwa 25 m Tiefe auf $3,8^\circ$ ansteigt und dann bis zum Seegrund unverändert bleibt. Dies läßt verstehen, daß die nun folgende, sehr kalte Witterung des Februars rasch zur Eisbildung am See führte und damit zur Winterstagnation. Mit Beginn des Monats März wurde diese Periode durch plötzliches, stürmisches Tauwetter beendet. Der daran anschließende, sehr unbeständige Witterungsabschnitt ließ längere Zeit keine Beobachtung am See zu.

Die Ergebnisse der Beobachtung entsprechen hinsichtlich der Sauerstoffwerte wohl genau den Erwartungen, die man auf Grund der Temperaturergebnisse hatte. Die Sauerstoffmengen sind nahezu gleichmäßig von der Oberfläche bis zum Seegrund verteilt. Die maximale Schwankung beträgt etwa 0,2 mg/l. Interessant ist dabei, daß sich diese Schwankungen mehr auf den oberen und unteren Seebereich beschränken, während der mittlere zwischen 30 und 50 m nahezu ungestörte Verhältnisse zeigt, wie bereits bei der letzten Beobachtung. Gegenüber damals sind die Werte auch wesentlich angestiegen. Für den mittleren Bereich um etwa 1,2 mg/l und maximal am Seegrund um etwa 3,7 mg/l.

Die Karbonatverteilung ist im ganzen See nahezu gleichmäßig. Nur in 60 m Tiefe befindet sich noch ein kleines Minimum. Für die Karbonatwerte ergibt sich von der Oberfläche bis zum Grund keine Änderung.

6. Beobachtung: Der See hat am 4. 5. seine winterliche Abkühlung bereits überwunden und befindet sich am Beginn der Frühjahrserwärmung. Bis 2 m macht sich die am Beobachtungstage herrschende Schönwetterlage bemerkbar. Anschließend ergibt sich bis 6 m nur eine geringe Temperaturabnahme. Zwischen 6 und 8 m zeigt sich wieder der Rest einer stärkeren Erwärmung in einer Sprungschicht. Darunter ändern sich die Temperaturen bis 20 m nur noch wenig und nähern sich langsam dem Dichtemaximum.

Trotz der etwas langen Pause bis zu dieser Beobachtung ergeben sich keine wesentlichen Veränderungen für die Sauerstoffverteilung. Einschränkend muß noch in bezug auf die Bedeutung dieser Zeitspanne zwischen den beiden Beobachtungen gesagt werden, daß sich der See etwa einen Monat, im Februar, unter

Eis befand. In dieser Zeit konnte er kaum Sauerstoff aufnehmen. Dabei dürften auch keine größeren Sauerstoffzehrunen erfolgt sein, nicht zuletzt wegen der tiefen Temperaturen. Vor allem hat sich wohl kaum ein lokaler Sauerstoffschwund, für den hauptsächlich der Seegrund in Frage käme, ausgebildet, da wie MINDER (1943, S. 287) schreibt, auch in einem gefrorenen See in den tieferen Bereichen noch ein Rest der herbstlichen Wasserbewegung erhalten bleibt. Die in der Zwischenzeit gesammelten Sauerstoffmengen entsprechen daher einer Anreicherungszeit von etwa zwei Monaten. In diesem Zeitraum sind die Werte in allen Tiefen um etwa 1,7 bis 2 mg/l angestiegen. Diese Tatsache zeigt, verglichen mit den Ergebnissen der Beobachtung vom 19. 12. 1955 und vom 29. 1. 1956, daß sich die Sauerstoffvorräte des Sees während der Vollzirkulation nahezu gleichmäßig schnell auffüllen.

Am Beobachtungstag zeigt sich eine Karbonatverteilung, wie sie entsprechend auch am Würmsee beobachtet wurde: Gleiche Karbonatmengen am Seegrund und an der Oberfläche, die übrigen Werte liegen darunter. Die Anreicherung an der Oberfläche ließe sich eventuell durch wärmere Zuflüsse des Sees erklären. Ob das Maximum am Seegrund schon das gewohnte des Sommers ist, ist zu bezweifeln, vor allem, da es bei den folgenden Beobachtungen wieder verschwunden ist. Die pH-Werte dagegen zeigen weitgehend gleichmäßige Ergebnisse für den ganzen Seebereich und entsprechen somit nicht der Karbonatverteilung. Die Sichtscheibe war an diesem Tage bis zu einer Tiefe von 5,5 m sichtbar.

7. Beobachtung: Der unruhige Witterungsablauf während der Frühjahrs-erwärmung wird noch schöner von der Beobachtung am 15. 5. widergespiegelt. Bis in 25 m Tiefe läßt die Temperaturkurve die Spuren stärkerer und schwächerer Erwärmungsabschnitte erkennen. Neben einer sehr schönen Sprungschicht in 7 bis 8 m Tiefe lassen sich noch zwei Restsprungschichten im 4- und 15-m-Bereich erkennen. Auch die tieferen Seeschichten zeigen etwa zwischen 25 und 70 m eine merkliche Erwärmung, die in ihrem Maximum fast $0,5^{\circ}$ erreicht.

Die Sauerstoffmengen haben sich im Tiefenbereich, verursacht durch die lebhafte Zirkulation im See, die auch von den Temperaturergebnissen bestätigt wird, weiter etwas angefüllt. Sie liegen mit Ausnahme des Wertes vom Seegrund, wo sich der Sauerstoff nicht mehr vermehrte, alle über der vollen Sättigung. Vom Grunde des Sees bis herauf zu 8 m Tiefe sind die Unterschiede in der Sauerstoffverteilung ohne Bedeutung. Dann jedoch zeigt sich ein eng begrenztes Maximum in 7 m Tiefe, also genau dem Bereich, der etwas ausgeglichene Temperaturen aufweist. Mit den wieder rascher steigenden Temperaturen über 5 m nehmen auch die Sauerstoffmengen sprunghaft ab und liegen im 0- bis 4-m-Bereich etwa 1 mg/l unter den übrigen Werten. In der plötzlichen Abnahme der Sauerstoffwerte gegen die stärker erwärmte Region der Seeoberfläche zeigt sich sehr schön, wie die Temperaturen die Verteilung des Sauerstoffs beeinflussen können. Diese Sauerstoffverteilung mit geringeren Mengen im erwärmten Epilimnium und gleichmäßig größeren im kalten Hypolimnium, die das ganze Jahr nicht allzuweit von der Sättigung entfernt sind, würde ein oligotropher See in der warmen Jahreszeit immer zeigen. Aber bereits das Sauerstoffmaximum dieser Beobachtung in 7 m Tiefe stört dieses Bild, da es nicht mehr temperaturbedingt ist.

Die Karbonatverteilung hat sich wieder weitgehend geändert. Die Maxima von der Seeoberfläche und vom Seegrund sind verschwunden, dafür hat sich ein neues in 40 m Tiefe gebildet. Die pH-Werte zeigen dagegen nur an der Oberfläche eine

merkliche Änderung, wo sie auf 8,0 angestiegen sind. Die Durchsichtigkeit des Wassers verringerte sich seit der letzten Beobachtung auf 4,8 m.

8. Beobachtung: Zwei Wochen später, am 29. 5., zeigen die oberen Seebereiche eine sehr beachtliche Erwärmung. Die hauptsächlich durch Strahlung verursachte Wärmezunahme im See reicht bis 5 m Tiefe. Hier beginnt sehr schroffer Temperaturabfall mit einem Gradienten von über $2^{\circ}/\text{m}$. Etwa zwischen 6 und 7 m wird diese Sprungschicht durch einen homothermeren Bereich unterbrochen. Darunter fällt die Temperatur wieder sehr rasch ab und geht bei 15 m mehr und mehr in den hypolimnischen Bereich über. Diese uneinheitliche Sprungschicht läßt noch deutlich die Spuren starker Zirkulationen erkennen, die seit dem Frühjahr im See erhalten sind. Das gleiche zeigt die Erwärmung bis 40 m, wenn sie auch schwach ist, ebenso die Abkühlung zwischen 50 und 60 m seit der letzten Beobachtung.

Mit Ausnahme der obersten 5 m sind in allen Tiefen die Sauerstoffwerte um etwa 1 mg/l gesunken. Im Bereich des Hypolimniums sind die Sauerstoffmengen in allen Tiefen nahezu gleich, nur im 60-m-Bereich liegen sie etwas höher und zeigen darunter erstmals wieder den vom Vorjahr bekannten Sauerstoffschwund, der vom Seegrund ausgeht. Das Epilimnium dagegen hat seine Tendenz, die Sauerstoffmengen den erhöhten Temperaturen entsprechend niedriger zu halten, wieder verloren und zeigt durchwegs höhere Werte als das Hypolimnium. So nehmen die Sauerstoffmengen von 12,5 m langsam bis zu einem Maximum von 12 mg/l gleich 126,8% in 2 m Tiefe zu. Gegen die Oberfläche gehen die Werte wieder etwas zurück, bleiben aber infolge der hier eingetretenen starken Erwärmung noch immer über 125% der Sättigung. Sehr interessant ist vor allem der Verlauf der Sauerstoffkurve zwischen 5 und 10 m. In 7 m Tiefe zeigt sich ein Maximum, das von ebensowenig mächtigen Minima in 6 und 8 m begrenzt wird. Bemerkenswert ist nun, daß dieses Maximum genau am unteren Rande des homothermeren Bereiches liegt. Das obere Minimum befindet sich am unteren Rande der Sprungschicht = am oberen Rande des homothermeren Bereiches. Das untere Minimum liegt wieder am oberen Rande der erneuten Sprungschicht. Es spiegelt sich also die sehr kurzlebige Erscheinung einer unterbrochenen Sprungschicht, wie sie im Laufe der Frühjahrserwärmung auftreten kann, trotzdem sehr deutlich in den Sauerstoffverhältnissen wider.

Während die drei Karbonatproben mit ihren ausgeglichenen Werten wieder an das Frühjahr erinnern, zeigen die pH-Werte an der Oberfläche einen weiteren Anstieg auf 8,18. Sie stimmen also nicht mit den Karbonatergebnissen überein, wie eigentlich zu erwarten wäre. Die Sichttiefe beträgt jetzt 4 m.

9. Beobachtung: Die unfreundliche Witterung des Monats Juni hatte zur Folge, daß der See bis zum 5. 7. in seinen Wärmeverhältnissen keine wesentliche Änderung zeigt. Zwar ist der Knick der Sprungschicht zwischen 5 und 7 m verschwunden, aber ihr Verlauf ist demjenigen von Ende Mai sehr ähnlich. Es kann also auch jetzt noch kaum eine Grenze zwischen Epi- und Metalimnium angegeben werden. Im 13- bis 25-m-Bereich zeigt sich eine Erwärmung, die in ihrem Maximum bei 16 m über $0,8^{\circ}$ erreicht. Da diese Erwärmung die Form einer Restsprungschicht zeigt, läßt sie die Vermutung zu, daß der See seit der letzten Beobachtung nochmals unter lebhafter Zirkulation stark abgekühlt wurde. Diese Vermutung wird auch durch die bis zur Seeoberfläche reichende Sprungschicht bekräftigt, die jetzt nicht mehr in dieser Form erwartet wird. Auch im Hypolimnium weisen

Spuren auf eine zwischenzeitlich lebhafte Zirkulation hin. Es zeigt sich in 40 m Tiefe eine Erwärmung, der in 50 m eine Abkühlung entgegensteht. Dazwischen liegt eine für diese Seetiefe sehr rasche Temperaturabnahme.

Einige Veränderungen zeigt die Sauerstoffverteilung seit der letzten Beobachtung. In allen Bereichen sind die Sauerstoffmengen wieder gesunken. Im Epilimnium liegen die Werte nur noch unbedeutend über der vollen Sättigung, unter die sie bereits in 5 m Tiefe fallen. Ein schmales Maximum in 7 m Tiefe läßt sie nochmals auf 103,6‰ ansteigen, aber 1 m tiefer sind sie bereits wieder auf 91,4‰ zurückgegangen. Darunter steigen die Sauerstoffmengen mit zunehmender Tiefe wieder an, wenn auch etwas ungleichmäßig und ruckartig, um dann bei 30 m in die dort gewöhnlich zu erwartenden linearen Sauerstoffverhältnisse überzugehen. Etwas seltsam nimmt sich in diesem meist „ungestörten“ Bereich das Minimum in 40 m Tiefe aus, das die lineare Sauerstoffverteilung zwischen 30 und 60 m für ein Stück unterbricht. Der Temperatursprung zwischen 40 und 50 m Tiefe läßt die Vermutung zu, daß durch Sekundärzirkulation in diesem Bereich ein größerer Sauerstoffschwund verursacht wurde. Für den Ammersee besteht auch noch eine Deutungsmöglichkeit darin, daß der See in dieser Tiefe von spezifisch schwererem Flußwasser durchströmt wird, das durch seine größere Verschmutzung zu einem höheren Sauerstoffschwund führte. Die Sauerstoffzehrung am Seegrund mit ihrem bis 60 m heraufreichenden Einfluß blieb erhalten.

Die pH-Ergebnisse von der Seeoberfläche zeigen im Gegensatz zur letzten Beobachtung nur mehr einen geringen Unterschied gegenüber den anderen Seebereichen, mit Ausnahme des Seegrundes, wo sich eine Abnahme ergibt. Für die Karbonatverteilung läßt sich ähnliches vermuten. Auch diese Beobachtungsergebnisse sprechen dafür, daß die Entwicklung im See zu sommerlichen Verhältnissen noch sehr jung ist. Die Sichttiefe hat sich auf 3 m verringert.

10. Beobachtung: Wesentlich größer ist dagegen der Wärmegewinn des Sees bis zur nächsten Beobachtung am 2. 9. Es findet sich bereits ein mächtig ausgeprägtes Epilimnium von etwa 11 m, während es bei der letzten Beobachtung schwer war, die Grenze zu ziehen zwischen Epi- und Metalimnium. Die Temperaturen sind auch jetzt, der Jahreszeit entsprechend, nicht mehr ausgeglichen, lassen aber trotzdem die Grenze zur Sprungschicht schön erkennen. Bis 3 m Tiefe zeigt sich die Erwärmung der letzten warmen Tage. Darunter reicht ein Bereich mit ausgeglicheneren Temperaturen bis zum Metalimnium in etwa 11 m Tiefe. Auch der obere Bereich des Hypolimniums konnte bis 35 m einen Wärmegewinn erzielen. Darunter hat sich die Tendenz der Abkühlung, die bereits früher beobachtet wurde, noch erhalten und ein schwaches Sinken der Temperaturen bewirkt. Die Sekundärzirkulation im See ist also noch nicht zur Ruhe gekommen.

Den klaren Temperaturverhältnissen entsprechend bergen auch die Sauerstoffergebnisse keine besonderen Probleme der Deutung. Das Epilimnium ist, wenn auch nicht übersättigt, so doch reichlich mit Sauerstoff beladen. Vom Maximum in 3 m Tiefe sinken die Sauerstoffmengen stufenweise zu einem Minimum, das genau am Beginn des Metalimniums liegt. Darunter beginnt wieder der Anstieg zum ausgedehnten Maximum der Tiefenschicht, dessen Höhepunkt mit 11,2 mg/l gleich 90% in 50 m gelegen ist. Darunter macht sich mit zunehmender Tiefe die Sauerstoffzehrung des Seegrundes immer mehr bemerkbar. Am Seegrund selbst, der in 79,5 m erreicht wurde, sind mit 7,3 mg/l noch 59,1% der eigentlichen Sättigung vorhanden.

Der Sauerstoffverteilung entsprechen die Karbonatverhältnisse. Im Oberflächenwasser ist der Karbonatgehalt auf 9,8 mg/l gesunken. Am Seegrund erreicht er knapp 10,6 mg/l und bleibt damit etwas hinter den Vorjahreswerten. Auch in 60 m ist noch die gleiche Karbonathärte anzutreffen, während in 20 und 40 m keine wesentlichen Veränderungen erkennbar sind.

Die pH-Ergebnisse zeigen nur an der Oberfläche und am Seegrund eine Abweichung von den übrigen Bereichen und stimmen somit nicht ganz mit der Karbonatverteilung überein. Die Sichttiefe hat sich bereits wieder auf 4 m vergrößert.

11. Beobachtung: Am 20. 9. ergibt die Beobachtung keine großen Veränderungen. Zwar hat sich das Epilimnium bereits um etwa $0,5^{\circ}$ abgekühlt, seine Temperaturverteilung ist aber deshalb nicht ausgeglichener, sondern eher noch etwas uneinheitlicher gestaltet als bei der vorhergehenden Beobachtung. Die Sprungschicht hat sich etwa 1 m tiefer verlagert. Zwischen 25 und 50 m ist schwache Erwärmung eingetreten, die auf weiter anhaltende Zirkulation in diesem Bereich deutet. Unter 50 m ergibt sich eine kaum merkbare Abkühlung.

Die Sauerstoffmengen des Epilimniums sind vor allem in seinem unteren Bereiche merklich angestiegen. Doch erinnert die Verteilung des Sauerstoffs sehr an die Werte der vorhergehenden Beobachtung. So liegt das Maximum des Epilimniums unverändert in 3 m Tiefe. Das metalimnische Minimum hat sich etwas abgeschwächt, dafür aber verbreitert und auf 15 m verlagert. Darunter erfolgt wieder der Anstieg zum gewohnten Maximum des Hypolimniums. Im 30-m-Bereich wird dieser Anstieg etwas gebremst. Dies deutet wie die Temperaturergebnisse auf eine Sekundärzirkulation im See hin. Die vom Seegrund ausgehende Sauerstoffzehrung hat weitere Fortschritte gemacht und die Sauerstoffvorräte auf 5,6 mg/l oder 45% reduziert.

Die Beobachtungsergebnisse zeigen für die Karbonathärte bereits das Bestreben, die sommerlichen Verhältnisse wieder aufzuheben. Das Oberflächenwasser hat sich schon wieder um mehr als 0,1 mg/l angereichert, dagegen hat sich am Seegrund noch nichts geändert. In 60 m Tiefe haben sich die Karbonatmengen wieder denen in 20 m angeglichen. Auch die pH-Werte gehen an der Oberfläche bereits wieder etwas zurück. Am Seegrund dagegen haben sie sich mit 7,6 noch etwas dem Neutralpunkt genähert. Die Sichttiefe hat sich auf 4,5 m vergrößert.

12. Beobachtung: Die Beobachtung am 10. 10. zeigt bereits deutlich die Wirkung der Herbstabkühlung. Die Temperatur des Epilimniums ist einheitlich auf 13° gesunken, nur eine dünne Oberschicht läßt Spuren einer vorübergehenden, kurzen Erwärmung erkennen. Das Epilimnium hat eine Mächtigkeit von etwa 14 m erreicht. Der darunterliegende Seebereich ist fast unverändert geblieben. Nur zwischen 35 und 45 m ist weiterhin eine schwache Erwärmungstendenz erkennbar. Die Zirkulation ist also weiterhin nicht zur Ruhe gekommen. Ein Vergleich mit den Vorjahreswerten vom 13. 10. ergibt nahezu Übereinstimmung für das Epilimnium in bezug auf Temperatur und Tiefenausdehnung. Bereits ab 15 m aber zeigt sich, daß die Temperaturen im Vorjahr wesentlich höher lagen als in diesem. So war es 1955 in 30 m Tiefe etwa 1° wärmer, in 40 m noch um $0,5^{\circ}$ und erst in 60 m Tiefe nähern sich die Werte der beiden Jahre. Die entsprechende Beobachtung wurde bereits am Würmseer gemacht.

Die kräftig fortgeschrittene Herbstabkühlung zeigt auch ihre Wirkung auf die Sauerstoffverhältnisse, die im Epilimnium fast ganz ausgeglichen sind. Nur in 6 m

Tiefe unterbricht ein kleines Minimum die gleichmäßige Verteilung und an der Sechoberfläche zeigt sich das Bestreben zur Sauerstoffanreicherung im Gegensatz zu den Sommerergebnissen, wo die Sauerstoffmengen mit Annäherung an die Oberfläche meist zurückgingen und dies oft um so stärker, je größer die Übersättigung im Epilimnium war. Der Abfall zum metalimnischen Minimum ist entsprechend der scharfen Temperaturschichtung sehr steil, sein Tiefpunkt liegt unverändert bei 15 m. Darunter erfolgt der gewohnte Anstieg der Sauerstoffmengen, der in 30 und 40 m Tiefe wieder etwas verlangsamt wird. Dies spricht wie die Temperaturergebnisse für eine anhaltende Zirkulation in diesem Bereich, die seit der letzten Beobachtung nun auch in 40 m Tiefe auftritt. Im Sauerstoffschwund des tieferen Hypolimniums hat sich nichts geändert, wenn sich auch wieder etwas größere Werte als bei der vorhergehenden Beobachtung ergeben.

Das Oberflächenwasser hat sich bereits auf 10,1 mg/l Karbonat angereichert, während am Seegrund nur noch 10,42 mg/l enthalten sind. In 40 m Tiefe verstärkte sich das zuvor schon angedeutete Minimum auf 10,2 mg/l. Die pH-Werte zeigen seit der letzten Beobachtung keine merkliche Veränderung. Die Durchsichtigkeit des Wassers hat sich mit 4,3 m nochmals etwas verringert.

13. Beobachtung: Die Abkühlung des Epilimniums hat bis zum 15. 11. einen beträchtlichen Fortschritt gemacht. Seine Temperatur beträgt 7,8° und seine Mächtigkeit etwa 18 m. Sie hat sich also seit dem letztenmal um 4 m vergrößert. Von 18 bis 25 m sind die Temperaturen etwas gesunken. Diese Temperaturentwicklung deutet auf eine Abkühlung des Sees durch Strahlung hin. Dies wird jedoch von den meteorologischen Angaben nicht ganz bestätigt, wie bereits am Würmsee näher ausgeführt. Schwache Andeutung für eine Zirkulation im See findet sich zwar in 30 m Tiefe mit einer leichten Abkühlung und in 45 m mit einer ebenso unbedeutenden Erwärmung. Ein Blick auf die Werte vor einem Jahr, vom 21. 11., bringt wieder nahezu Übereinstimmung hinsichtlich der Temperatur des Epilimniums. Die Mächtigkeit betrug damals aber etwa 25 m, also 7 m mehr als in diesem Jahr. Auch im tieferen Bereich zeigen sich die bereits in der vorhergehenden Beobachtung beschriebenen Unterschiede nahezu unverändert. Der See hatte also im Vorjahr um dieselbe Zeit noch wesentlich mehr Wärme gespeichert.

Trotz der fortgeschrittenen Herbstabkühlung haben sich die Sauerstoffverhältnisse des Epilimniums, wenn sie auch im großen und ganzen weiterhin ausgeglichen sind, wieder etwas unterschiedlicher gestaltet. In 4 m Tiefe liegt ein schmales Maximum, gefolgt von einem schwachen Minimum in 5 m Tiefe. Unter 15 m sinken die Sauerstoffwerte, wenn auch nicht mehr so rasch wie bei der letzten Beobachtung, zum bekannten Minimum der Sprungschicht ab. Dieses hatte sich abgeschwächt, aber verbreitert auf 20 m verlagert. Der Anstieg zum Maximum der Tiefenschicht, das unverändert in 50 m Tiefe liegt, zeigt auch diesmal wieder eine Abschwächung im 40-m-Bereich. Dies würde die bei den Temperaturverhältnissen angenommene Zirkulation bestätigen. Zwischen 20 und 50 m sind die Sauerstoffmengen seit der letzten Beobachtung weiter etwas gesunken, während sie im Epilimnium bereits beachtlich angestiegen sind. Die bis 50 m herauf wirkende Sauerstoffzehrung des Seegrundes hat wieder Fortschritte gemacht. In 79 m Tiefe sind mit 5,3 mg/l nur noch 42,9% des eigentlichen Sättigungswertes vorhanden. Damit war die geringste Sauerstoffmenge des Jahres 1956 erreicht.

Für die Karbonathärte zeigt die Beobachtung wieder restaurative Tendenzen hinsichtlich der Sommerverhältnisse. Im Oberflächenwasser sank der Karbonat-

gehalten wieder auf 10 mg l, während am Seegrund fast 10,6 mg l vorhanden sind. Die übrigen Werte sind wie immer wenig verändert, ebenso sind die pH-Werte gleichgeblieben. Die Sichttiefe hat inzwischen 6,8 m erreicht.

b) Ergebnisse der Beobachtungen.

α) Temperatur:

Den kurzen Überblick über das Temperaturgeschehen der ganzen Beobachtungszeit am Ammersee soll die Isoplethendarstellung in Abb. 21 erleichtern. Die Beobachtungen beginnen während der Herbstabkühlung 1955. Vergleichen wir diese mit der des darauffolgenden Jahres, so zeigt sich, daß der See im ersten Jahr viel tiefer erwärmt war, z. B. bewegt sich die 5°-Kurve im November 1955 in 40 m Tiefe, während sie im folgenden Jahre nur 33 m erreicht. Es fehlt auch die kurzfristige Erwärmung im oberen Hypolimnium während der Herbstabkühlung. Im Oktober beider Jahre sind die Temperaturen des Epilimniums noch auffallend gleich (etwa am 18. 10. = 12°; 24. 10. = 11°; 1. 11. = 10°). Mit fortschreitender Abkühlung jedoch wirkt sich die größere Wassermasse des Epilimniums von 1955 in einer Verlangsamung dieses Vorganges aus (20. 11. 1955 E = 8°; 14. 11. 1956 E = 8°).

Inwieweit sich die Frühjahrs- und Sommerverhältnisse beider Jahre gleichen oder unterscheiden, kann nicht gesagt werden, da nur vom 2. Jahr Beobachtungen aus dieser Zeit vorliegen. Dabei zeigt sich im Mai eine intensive Erwärmung, die rasch zur Tiefe fortschreitet. Mit Beginn des Monats Juni verlangsamt sich jedoch dieser Vorgang merklich, im 12-m-Bereich hört er sogar ganz auf bis Anfang Juli. Im ganzen aber zeigt sich ein langsames Tieferwandern der Sprungschicht, das den ganzen Sommer über anhält, bis sie von der Herbstabkühlung wieder aufgelöst wird. Die Auswirkung des windigen und niederschlagsreichen Sommers zeigt sich also auch hier, wie am Würmsee. Auf Grund dieser weitgehenden Übereinstimmung darf angenommen werden, daß die Verhältnisse im Vorjahr am Ammersee ebenfalls denen des Nachbarsees ähnlich waren.

β) Sichttiefen:

Die Beobachtungsergebnisse der Sichttiefenbestimmung sind in Tab. 11 angeführt und in Abb. 22 graphisch dargestellt. Sie zeigen im großen und ganzen eine Übereinstimmung mit den in der Literatur angeführten Ergebnissen: Abnahme der Durchsichtigkeit im Sommer, Zunahme im Winter. Die Sichttiefe liegt Anfang Mai (4. 5.) noch bei 5,5 m, verringert sich dann zusehends bis zu ihrem Minimum im Juli, am 5. 7. 1956, wo die Scheibe in 3 m Tiefe verschwindet. Das Wasser wird dann wieder zunehmend klarer. Von Ende September bis Anfang Oktober verringert sich die Sichttiefe nochmals geringfügig, nimmt dann aber immer rascher zu. Am 15. November ist die Scheibe bereits bis zu einer Tiefe von 6,8 m zu sehen. Die Jahresschwankungen bleiben damit beträchtlich hinter denen des Würmsees zurück.

Tabelle 11: Sichttiefen am Ammersee in der Beobachtungszeit vom Sommer 1956

Datum	Tiefe (m)
4. 5.	5,5
15. 5.	4,8
29. 5.	4,0
5. 7.	3,0
2. 9.	4,0
20. 9.	4,5
10. 10.	4,3
15. 11.	6,8

γ) Sauerstoff:

Ein kurzer Rückblick auf die obigen Betrachtungen bestätigt die bereits bei der ersten Beobachtung ausgesprochene Vermutung, daß die in der Literatur weit verbreitete Annahme, die diluvialen Alpenvorlandseen seien schon auf Grund ihrer Morphologie und ihres Alters oligotroph, heute für den Ammersee nicht mehr zutrifft. Die Sauerstoffverhältnisse zeigen Merkmale, die nicht mehr zur Oligotrophie gehören.

Im Frühjahr ergibt sich für alle Seebereiche eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff. Mit Beginn des Sommers aber tritt im Epilimnium die Neigung auf, das Wasser mit Sauerstoff zu übersättigen. Darunter stellt sich im Metalimnium und am Seegrund eine vermehrte Sauerstoffzehrung ein. Am Seegrund sinken die Sauerstoffwerte mit 42,1‰ am 21. 11. 1955 und 42,9‰ am 15. 11. 1956 beträchtlich unter die Mindestgrenze der für oligotrophe Seen geforderten 70%. Es sei auch auf die Darstellung des Sauerstoffganges am Seegrund in Abb. 23 verwiesen. Zwischen dem Minimum der Sprungschicht und des Seegrundes kann sich noch eine Zone mit ausreichender Sauerstoffversorgung das ganze Jahr über behaupten. Sie verdankt ihre Existenz der für eine völlige Eutrophierung zu großen Seetiefe und weist andererseits darauf hin, daß die sich zeigenden, eutrophen Merkmale nicht naturbedingt sind und dem natürlichen Alterungsvorgang des Sees entsprechen, sondern durch künstliche Einflüsse hervorgerufen wurden.

δ) Wasserhärte (Karbonathärte):

Für eine kurze Zusammenfassung der Beobachtungen kann man sich, wie beim Würmsee, auf die Betrachtung der Werte von Oberfläche und Seegrund beschränken, da sie die wichtigsten sind und, wie sich zeigte, die größten Änderungen aufzuweisen haben. Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse in Abb. 23 soll den Jahresverlauf etwas deutlicher gestalten. Es zeigt sich dabei für die Oberflächenwerte in den Sommermonaten ein Minimum, während die Karbonatwerte vom Seegrund ein Maximum aufweisen. Zur Zeit der Homothermie des Seewassers nähern sich die beiden Kurven sehr weitgehend. Bemerkenswert ist in dieser Periode noch das Ansteigen der Karbonatmengen in den Monaten Februar bis April. Eine Erklärung dafür kann in dieser Arbeit nicht gegeben werden, da entsprechende Untersuchungen fehlen. Mit Beginn der Sommerschichtung werden dann die Karbonatmengen im Oberflächenwasser wieder langsam abgebaut, während am Seegrund nach kurzem Rückgang wieder die gewohnte Anreicherung auftritt. Dabei zeigt sich, daß im zweiten Beobachtungsjahr die Unterschiede zwischen Oberflächenwasser und dem Wasser vom Seegrund geringer sind als im Vorjahr. Im großen und ganzen stimmen also am Ammersee die Ergebnisse der Karbonatbestimmungen mit den Sauerstoffverhältnissen überein. Nur die Anreicherung im Frühjahr entspricht nicht den Sauerstoffergebnissen.

ε) Wasserhärte (Gesamthärte):

Die durchschnittliche Gesamthärte des Ammerseewassers dürfte bei 11,9 deutschen Härtegraden liegen. Sie erreicht damit nach OLSZEWSKY bereits die Grenze des mittelharten zu ziemlich hartem Wasser. Die bleibende Härte ist daran mit bis zu 1,5 Härtegraden beteiligt. Im Vergleich zum Würmsee erscheint dies recht hoch. Trotzdem dürften aber die sich ergebenden Härteunterschiede zwischen

Oberflächenwasser und Wasser vom Seegrund sowie die im Jahresablauf auftretenden Schwankungen (s. Tab. 12) zum größten Teil von der Karbonathärte verursacht werden. Nur im Frühjahr ergibt sich, wie schon am Würmsee, wieder

Tabelle 12: Karbonathärte, Gesamthärte und pH-Werte für die Zeit der Ammerseebeobachtungen von 1955 und 1956 (zu S. 67)

Datum Tiefe (m)	3. 11.	21. 11.	19. 12.	29. 1.	4. 5.	15. 5.	29. 5.	5. 7.	2. 9.	20. 9.	10. 10.	15. 11.
0	9,66	10,02	10,42	10,33	10,58	10,44	10,39	—	9,80	9,94	10,11	10,00
20	10,36	10,36	10,28	10,33	10,39	10,44	10,39	—	10,36	10,42	10,42	10,25
40	10,25	10,30	10,33	10,33	10,36	10,56	—	—	10,42	10,30	10,22	10,33
60	10,11	10,42	10,50	10,19	10,39	10,33	—	—	10,58	10,42	10,36	10,30
Seegrnd. (m)	10,64 (77,4)	10,67 (77,8)	10,64 (78)	10,36 (78)	10,61 (79)	10,44 (79,5)	10,42 (75)	—	10,56 (79,8)	10,58 (79)	10,42 (79,8)	10,56 (79,5)
0	11,35	11,50	11,65	11,82	11,90	11,91	11,91	11,57	11,30	11,50	11,70	11,77
20	11,67	11,59	11,75	11,83	11,88	11,88	11,99	12,10	12,00	12,12	12,05	12,00
40	11,70	11,64	11,65	11,81	11,88	11,87	—	11,79	12,15	12,07	12,10	12,03
60	11,77	11,78	11,79	11,86	11,92	11,90	—	12,04	12,10	12,20	12,20	12,10
Seegrnd. (m)	11,98 (77,4)	11,89 (77,8)	11,88 (78)	11,84 (78)	11,90 (79)	11,90 (79,5)	11,90 (75)	12,07 (78,3)	12,25 (79,8)	12,26 (79)	12,25 (79,8)	12,22 (79,5)
0	8,00	7,99	7,88	7,85	7,92	8,00	8,18	8,05	8,02	8,00	8,02	8,00
20	7,84	7,98	7,87	7,85	7,90	7,90	7,85	7,98	7,83	7,81	7,85	7,82
40	7,85	7,85	7,88	7,87	7,87	7,87	—	7,95	7,85	7,82	7,85	7,88
60	7,82	7,83	7,85	7,87	7,88	7,85	—	7,90	7,85	7,81	7,85	7,85
Seegrnd. (m)	7,65 (77,4)	7,65 (77,8)	7,67 (78)	7,85 (78)	7,85 (79)	7,85 (79,5)	7,83 (75)	7,81 (78,3)	7,68 (79,8)	7,61 (79)	7,62 (79,8)	7,60 (79,5)

eine Ausnahme. Während der Karbonatgehalt des Oberflächenwassers und am Seegrund ansteigt, bleibt die Gesamthärte bis Ende Mai ohne Änderung und gleicht erst dann in ihrem Verlauf weitgehend dem der Karbonathärte wieder.

ζ) pH-Werte:

Die Ergebnisse der pH-Werte bestätigen die bereits bei den Karbonatverhältnissen gemachten Beobachtungen. Sie zeigen in den Sommermonaten im Epilimnium eine Entwicklung in basischer Richtung an und deuten somit auf eine CO₂-Verarmung. Am Seegrund dagegen treffen wir auf eine zum sauren Bereich gerichtete Tendenz. Daraus können wir auf eine Anreicherung mit Kohlensäure schließen. Im ganzen ist dazu noch zu bemerken, daß an der Seeoberfläche geringere pH-Änderungen im Jahresablauf auftreten als am Seegrund, wenn dabei als Mittelwert für das Ammerseewasser ein pH mit nicht ganz 7,9 angenommen wird, wie er am Ende der Frühjahrszirkulation im ganzen Seewasser anzutreffen ist. Im mittleren Seebereich hält sich dieser Wert auch während des ganzen Jahres.

c) Die aus den Beobachtungen abgeleiteten Wasserbewegungen.

Die physikalischen und chemischen Beobachtungen am Ammersee weisen auf ein Zirkulationssystem hin, das dem des Würmsees sehr ähnlich ist. Durch die Bewegung im Epilimnium wird eine Sekundärzirkulation angeregt, die sich über den Bereich des Metalimniums und den oberen des Hypolimniums erstreckt.

Deutlich zeigen dies die Sauerstoff- und Temperaturbeobachtungen vom 21. 11. 55; 20. 9. 56; 10. 10. 56; 15. 11. 56 und andere. Daß die Mächtigkeit der einzelnen Zirkulationen entsprechend der Jahreszeit sehr schwanken kann, zeigen z. B. die Beobachtungen vom 3. 11. und 21. 11. 55. Die Sekundärzirkulation zwischen 25 und 40 m wurde auf den Raum zwischen 30 und 40 m Tiefe zusammengedrängt, während die darunterliegende sich unverändert über den Raum von 40 bis 80 m erstreckt. Es können auch nur zwei Zirkulationssysteme im See vorhanden sein, wie z. B. am 19. 12. 1955, oder es beherrscht eine einheitliche Zirkulation den ganzen See wie im Frühjahr und Herbst. Während der Frühjahrserwärmung sind entsprechend den vielen Sprungschichten auch mehr als drei Zirkulationssysteme im See möglich. Das Zirkulationsschema der Abb. 24 wurde nach der Beobachtung vom 20. 9. 1956 gezeichnet.

An morphologischen Besonderheiten, die die Zirkulation im See beeinflussen könnten, ist nur die etwa 3 km breite Herrschinger Bucht zu nennen. Das übrige Seebecken ist sehr einfach gestaltet. Als anderweitiger Einfluß auf die Zirkulation im See käme der Durchfluß der Ammer in Betracht. Jedoch kann auch ihr genauer Einfluß nur durch weiträumige Beobachtungen festgestellt werden, wie sie mit den mir zu Verfügung gestandenen Mitteln unmöglich sind. In manchen Erscheinungen läßt sich zwar der Einfluß der Ammer vermuten, wie z. B. bei den thermischen Unterschieden, die sich gegenüber dem Würmsee ergaben. Eine genaue Abgrenzung ist in dieser Arbeit nicht möglich.

4. Vergleich der Ergebnisse von Würm- und Ammersee.

a) Wassererneuerung in beiden Seen.

Wenn zwei Seen hinsichtlich ihres Trophiezustandes verglichen werden sollen, so ist neben der Berücksichtigung aller bisher behandelten Punkte, wie Seegestaltung, Wassermasse u. ä., noch die Frage wichtig, wie es mit der Wassererneuerung in beiden Seen steht. Es kann nämlich nicht unberücksichtigt bleiben, ob ein See seine ganze Wassermasse in einem Jahr oder erst in einem Vielfachen davon ersetzen kann. Dies ist für die Planktonentwicklung von entscheidender Bedeutung. Auch für die Thermik ist sie nicht ohne Wirkung, da die Zuflüsse meist nicht die Wassertemperatur der Secoberfläche zeigen.

Um die Zeit der Wassererneuerung eines Sees zu erhalten, müssen Seevolumen und Abfluß aus dem See verglichen werden. Es errechnet sich dabei aus den Abflußmengen des hydrographischen Jahres 1955 (s. Tab. 3) eine Wassererneuerung für den Ammersee in etwa zwei Jahren, für den Würmsee in über sechzehn Jahren. Nach den Werten von 1956 benötigt der Würmsee sogar über neunzehn Jahre, während der Ammersee nur 2,4 dazu braucht. Der Würmsee benötigt also die 8fache Zeit, um sein Wasser einmal zu erneuern, gegenüber dem Ammersee. Dieser beträchtliche Unterschied darf bei der Beurteilung der Seetypenfrage nicht unberücksichtigt bleiben.

b) Schichtungen als Anzeichen der Eutrophierung.

Die vergleichende Betrachtung der Ergebnisse von beiden Seen erbringt als Resultat eine Eutrophierung. Sie wird angezeigt durch eine charakteristische Schichtung chemischer Faktoren im See. Diese Schichtung wird durch die unter

A, I—III; B, I, 2; B, II, 2, c; B, II, 3, c und B, II, 4, a behandelten Faktoren in bestimmter Weise beeinflußt. Es wird darauf bei der Behandlung der einzelnen Punkte entsprechend hingewiesen.

α) Sauerstoff.

Als das Hauptmerkmal der beginnenden Eutrophierung, das außerdem die zuverlässigsten Aussagen erlaubt, ergibt sich eine Schichtung der Sauerstoffverteilung im See. Sie tritt in beiden Seen etwa zur gleichen Jahreszeit auf. Im Frühjahr sind die Sauerstoffvorräte noch gleichmäßig über den ganzen See verteilt und gleichen denen eines oligotrophen Sees. Sobald aber im See sommerliche Temperaturverhältnisse herrschen, zeichnen sich in beiden Seen charakteristische Merkmale ab. Im Epilimnium beginnt eine zunehmende Sauerstoffübersättigung Platz zu greifen. Die Sauerstoffvorräte des Metalimniums und des Seegrundes werden im Verein damit zusehends verringert. Diese Merkmale sind natürlich in beiden Seen nicht gleichmäßig ausgebildet, sondern zeigen manche Unterschiede:

Die Sauerstoffzehrung am Seegrund des Würmseees verringert die Vorräte im Jahre 1955 am 12. 11. auf 33,5% und ein Jahr später sind am 16. 11. nur mehr 28,2%, also 5,3% weniger, vorhanden. Am Ammersee dagegen ist die Sauerstoffzehrung am Seegrund in beiden Jahren fast gleich, am 21. 11. 1955 42,1%, und am 15. 11. 1956 42,9%. Ein weiterer Unterschied zum Würmsee zeigt sich in der Übersättigung des Epilimniums, die am Ammersee wesentlich geringer ist. So ergibt sich am Würmsee am 8. 7. 1956 eine Übersättigung von 136,9% mit 12,89 mg/l in 3 m Tiefe, der eine Übersättigung am Ammersee am 5. 7. von nur 106,7%, gleich 10 mg/l in 2 m Tiefe gegenübersteht. Dieses Zurückbleiben der Sättigungswerte vom Ammersee gegenüber denen des Würmseees, das sich Anfang Juli so deutlich zeigt, bleibt den ganzen Sommer über, wenn auch nicht so ausgeprägt, erhalten. — Da auch die Sichttiefe am Ammersee im Sommer dreimal größer ist als am Würmsee, darf angenommen werden, daß die Entfaltung des Planktons im Würmsee wesentlich intensiver ist als am Ammersee. — Entsprechend diesem Unterschied erreicht auch die Sauerstoffzehrung im Metalimnium und am Seegrund keine so hohen Werte, wie am Würmsee. Auch die „biologisch indifferente“ Zone, wie MINDER sie nennt, des mittleren Hypolimniums weist am Ammersee noch größere Sauerstoffmengen auf als am Würmsee, trotz der dort größeren Mächtigkeit infolge des tieferen Seebeckens. Daraus ergibt sich, daß dieser Seebereich doch indirekt an den Vorgängen im See beteiligt ist, dadurch, daß die aus der trophogenen Schicht absinkenden, toten Organismen seinen Sauerstoffgehalt langsam aber gleichmäßig verringern. Je größer nun dieser Bereich ist, desto länger werden die Sauerstoffvorräte am Grund erhalten bleiben können, bei sonst gleicher Menge abgestorbener Organismen. Damit greift diese Zone des Sees doch indirekt in die übrigen Vorgänge im See ein und wird deshalb vielleicht noch treffender „biologisch inaktive“ Zone genannt, da ihre Beteiligung am Sauerstoffwechsel nur passiv ist.

Betrachten wir abschließend noch das Verhältnis von Sauerstoffübersättigung im Epilimnium und Sauerstoffzehrung im Meta- und Hypolimnium, so zeigt sich, daß der Ammersee verglichen mit seinen geringeren Übersättigungen doch im Verhältnis zum Würmsee recht hohe Werte für die Sauerstoffzehrung aufweist. Dies läßt die Vermutung zu, daß an der Sauerstoffzehrung nicht nur die „Eigenproduktion“ des Sees beteiligt ist, sondern auch die Ammer ihren Beitrag dazu

leistet. Es ist jedoch sehr schwer, die genaue Größe des Beitrages festzustellen, da er andererseits wieder etwas ausgeglichen wird durch den Abfluß der Amper, die den ganzen Sommer über einen Teil der Produktion aus der trophogenen Schicht wieder abzieht und so dem Kreislauf des Seestoffwechsels entzieht. Diese Annahme wird durch die thermischen Verhältnisse bekräftigt. Im Sommer 1956 ist das Epilimnium des Würmsees größer und tiefer erwärmt, als das des Ammersees im Gegensatz zum Vorjahr. Dies erklärt sich etwa so, daß die obersten, wärmeren Seeschichten ziemlich rasch durch den starken Abfluß in diesen Sommermonaten (s. Tab. 3) weggeführt und vom Zufluß der Ammer durch kälteres Wasser ersetzt wurden. Der damit gleichzeitig abgeführte Planktonanteil des Epilimniums geht dem Kreislauf des Seestoffwechsels verloren. Dies läßt auch den Sichttiefenunterschied zwischen Würm- und Ammersee verstehen, denn im mehr „stagnierenden“ Wasser des Würmsees sind die Möglichkeiten zur Planktonentwicklung wesentlich günstiger.

Trotz dieser Unterschiede stimmen beide Seen in ihrem Hauptmerkmal überein. Sie befinden sich auf dem Wege zur Eutrophierung, die in beiden Seen nicht natürlich bedingt ist. Ihre Ursachen müssen in künstlichen Einflüssen gesucht werden, wie etwa der starken Besiedlung und damit der Zuführung von vermehrten Abwässern und Abfällen, die eine künstliche Seedüngung verursachen. Ein Beispiel dafür bringt Abb. 25. Sie zeigt einen Ausschnitt aus dem viele 100 m langen Streifen Unrat, der von leichtem Westwind am Ostufer des Sees angetrieben wurde.

β) Karbonathärte.

Wie unter B, II, 2, b, d erwähnt, sind Sauerstoff und Karbonathärte chemisch eng miteinander verbunden. Es müßte sich damit auch für letztere die gleiche Schichtung ergeben, wie für den Sauerstoff. Dies ist meistens der Fall. Im Sommer zeigen beide Seen an der Oberfläche eine Verarmung an Karbonat, was auf CO_2 -Abnahme und damit auf Anreicherung von Sauerstoff deutet. Ebenso tritt am Seegrund eine Anreicherung von Karbonat auf und damit eine Zunahme des CO_2 , was einer Abnahme an Sauerstoff entspricht.

In Abweichung davon zeigt sich an beiden Seen zur Zeit der Frühjahrszirkulation eine Anreicherung mit Karbonat, der keine Sauerstoffabnahme gegenübersteht. Weiterhin bleiben die Karbonatverhältnisse am Würmsee im Sommer des zweiten Jahres am Seegrund nach kurzem Anstieg ab Mai fast unverändert. Dagegen zeigen die Sauerstoffvorräte gerade in diesem Jahr einen noch größeren Rückgang als im Vorjahr. Dies bedeutet ein entsprechend größeres Maximum für CO_2 und damit die Möglichkeit des Wassers, mehr Karbonat zu lösen. Warum dies nicht geschah, liegt vielleicht daran, daß der nötige Nachschub an Kalk aus der trophogenen Zone noch nicht bis zu dieser Tiefe abgesunken war.

Diese Beispiele zeigen, daß der Sauerstoff wie zu Beginn dieser Arbeit in einem Zitat von THIENEMANN erwähnt wurde, das beste Mittel ist, den Seestoffwechsel und den Trophiegrad eines Gewässers zu bestimmen.

γ) pH-Werte.

Die Beobachtung der pH-Werte zeigt, daß diese für beide Seen das ganze Jahr über in allen Tiefenzonen im alkalischen Bereich liegen. Dabei sind die Mittelwerte, die am Ende der Vollzirkulation angenommen werden, in beiden Seen

nahezu gleich. Am Würmsee ergibt sich ein pH von etwa 7,8 und am Ammersee von 7,9.

Im Laufe des Jahres bleiben diese Werte in den oberen und mittleren Seebereichen weitgehend erhalten. Am Seegrund dagegen zeigt sich mit fortschreitender Sommerstagnation eine zum sauren Bereich gerichtete Tendenz, ohne jedoch den Neutralpunkt zu erreichen, während dieser Entwicklung eine gegenläufige an der Seeoberfläche gegenübersteht. Bemerkenswert ist dabei, daß die im Jahresablauf auftretenden pH-Schwankungen am Ammersee geringer sind als am Würmsee. Zwar sind am Würmsee die Sauerstoffschwankungen und damit wohl auch die des CO_2 , entsprechend der stärkeren Planktonentwicklung, größer als am Ammersee. Jedoch dürfte auch der etwa um die Hälfte höhere Karbonatgehalt des Ammerseewassers und damit der höhere Pufferungsgrad desselben von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die pH-Schwankungen sein. Im ganzen stimmen die pH-Verhältnisse sogar etwas besser mit der Sauerstoffentwicklung überein als die der Karbonatwerte.

C. DIE GEWONNENEN ERGEBNISSE IM VERGLEICH ZU DEN ÄLTEREN BEOBACHTUNGSREIHEN

In der Literatur sind leider nur physikalische Beobachtungen bekannt, die Vergleiche mit meiner Arbeit ermöglichen. Dabei kommt neben der Thermik vor allem den Sichttiefenbestimmungen besondere Bedeutung zu.

I. Thermik.

Bei den Besprechungen B, II, 2, b, α und B, II, 3, b, α wurde bereits darauf hingewiesen, wie sehr sich das Wettergeschehen im Temperaturbild des Sees widerspiegelt. Ein weiteres Beispiel dazu bringen die Arbeiten von AMMANN (1912) am Würmsee. Auffallend sind dabei nicht nur die hohen Werte, die AMMANN am 28. 7. 1911 nach längerer, windarmer und sehr heißer Witterung im oberen Seebereich feststellte, sondern fast noch mehr die im Gegensatz dazu recht tiefen Werte des oberen Hypolimniums. So fand AMMANN den ganzen Sommer über bis Ende September schon in 40 m Tiefe nur 4°, eine Temperatur also, die auch im wesentlich kälteren zweiten Jahr meiner Beobachtungen weit überschritten wurde. Diese Tatsache läßt auf sehr windarme Witterungsverhältnisse des Jahres 1911 schließen. Leider fehlen von AMMANN Temperaturmessungen aus größeren Tiefen, die darüber Auskunft geben, inwieweit sich die winterliche Abkühlung dort noch bemerkbar machte. So hat z. B. ULE (1901) noch im August 1894 in 110 m Tiefe eine Temperatur von 3,85° gemessen. Es war also, wenn auch die Dichteänderung bei zunehmendem Druck berücksichtigt wird, das Dichtemaximum noch nicht erreicht. Diese Beispiele zeigen, daß viele Beobachtungen in Jahren mit ganz verschiedenem Witterungscharakter nötig sind, um ein endgültiges Urteil über das Temperaturgeschehen in einem See zu fällen.

II. Sichttiefen.

Den Sichttiefenbestimmungen aus früheren Zeiten kommt insofern besondere Bedeutung zu, als sie mit Vorsicht Schlüsse auf die damalige biologische Entwick-

lung im See zulassen. Vergleicht man z. B. die Werte der Sichttiefenbestimmungen von AMMANN (1912), die in Abb. 26 neben meinen Beobachtungen graphisch dargestellt sind, mit letzteren, so fällt vor allem der große Unterschied der Monate Mai bis Juli auf. Während meine Beobachtungen ein Minimum von 1 m Ende Juli ergaben, lag das Minimum 1911 noch bei fast 5 m im August. Es muß zwar einschränkend berücksichtigt werden, daß AMMANN seine Bestimmungen mit einer rechteckigen Scheibe von 30 x 25 cm durchführte, die zwar etwas größere Werte für die Sichttiefe ergibt als die von mir verwendete Scheibe, jedoch kann damit nicht im entferntesten der große Unterschied erklärt werden, der außerdem in den Herbstmonaten nicht vorhanden ist. Im Gegenteil, AMMANN stellte Mitte November 1911 nur 6,5 m fest, während meine Beobachtung zur selben Jahreszeit 7,8 m ergab. Auch ULE (1901, S. 169) weist darauf hin, daß verschieden große Scheiben unterschiedliche Ergebnisse liefern, z. B. erreichte er am 9. 1. 01 mit einer Scheibe von 30 cm Durchmesser 14 m, mit einer von 20 cm 12 m. Dies würde also im obigen Fall, wo sich die beiden Scheiben hinsichtlich ihrer Sichtbarkeit ähnlich verhalten dürften, bei 5 m eine Differenz von 1 m ergeben. Mit anderen Worten: das Minimum von 5 m entspräche einem solchen von 4 m, gemessen mit einer 30-cm-Scheibe. Es bliebe aber dann immer noch ein Unterschied von 3 m gegenüber meinem Ergebnis. Dazu sei noch auf VON AUFSSESS (1905, S. 39) hingewiesen, der annimmt, daß sich der Unterschied zwischen verschieden großen Scheiben erst ab 10 m Tiefe bedeutend auswirkt, da bis zu dieser Tiefe auch Scheiben von 20 cm Durchmesser noch deutliche Objekte sind. Nach dieser Auffassung könnten die Werte von AMMANN sogar ohne Einschränkung mit meinen verglichen werden. Dafür sprechen auch noch folgende Tatsachen: Die Werte von AMMANN stammen aus einem sehr heißen Sommer, wo sich für die Planktonentwicklung nach der RGT-Regel (s. RUTTNER 1940, S. 60) wesentlich günstigere Entwicklungsmöglichkeiten boten als in meinem Beobachtungsjahr, das sich durch häufig unfreundliches Wetter auszeichnete. Dazu kommt noch, daß AMMANN seine Beobachtungen in dem, durch dichtere Besiedlung und den Würmabfluß bedingt, trüberen Nordteil des Sees machte, während meine Werte von der Seemitte stammen. Werden diese Gesichtspunkte noch berücksichtigt, so sind die Werte von AMMANN gegenüber meinen vielleicht sogar zu gering bewertet.

Einfacher lassen sich die von ULE (1911) in verschiedenen Jahren gewonnenen Werte vergleichen, da sie mit einer gleichgroßen Scheibe durchgeführt wurden. Als Minimum gibt ULE 3 m am 3. 8. 1896 an. Er schränkt dessen Bedeutung jedoch ein, indem er den geringen Wert auf Zufluß von trübem Regenwasser zurückführt. Dieser Gesichtspunkt kann bei meinen Ergebnissen weitgehend außer acht gelassen werden, da die Messungen, wie bereits erwähnt, in der Seemitte durchgeführt wurden, wo die an sich sehr unbedeutenden Zuflüsse kaum einen Einfluß haben dürften. Die übrigen Minima, die ULE in den Jahren 1893 bis 1901 feststellte, lagen etwa bei 3,5 m.

Dieser Vergleich mit den Ergebnissen früherer Jahre zeigt uns, daß sich die Sichttiefe in den Sommermonaten im Verlaufe der letzten fünfzig Jahre mindestens um zwei Drittel verringert hat. Diese Verminderung der Durchsichtigkeit dürfte im wesentlichen biologische Ursachen haben und sich damit erklären, daß der See durch die zunehmende Besiedlung immer mehr Abwässer und Abfälle, wie Abb. 25 zeigt, erhält und damit stärker „gedüngt“ wird, womit die Entwicklung des

Planktons gefördert wird. Ein kleiner Teil der vermehrten Trübung wird natürlich durch die direkte Schwebstoffzuführung des Abwassers selbst verursacht. Damit wird die bereits bei der Besprechung der Sauerstoffergebnisse ausgesprochene Vermutung, daß die Eutrophierung des Sees keine natürlichen Ursachen hat, weiter bekräftigt.

D. AUFGABEN EINER ÜBERPRÜFUNG RESP. NEUAUFNAHME VON OBB. SEEN

Das Ergebnis der vorliegenden Beobachtungen erbrachte eine beginnende Eutrophierung für Würm- und Ammersee, die durch künstliche Einflüsse hervorgerufen wurde. Dieses Resultat überrascht, wenn man bedenkt, daß diese Seen auch in neuerer Literatur noch als oligotroph angesehen wurden. Ebenso würde ihre Morphologie und ihr Alter nicht auf Eutrophie deuten.

Mit diesem Beispiel werden wir an die Schweiz erinnert. Dort sind heute ebenfalls Seen eutroph, von denen man es auf Grund ihres Alters und ihrer Morphologie nicht erwarten würde, wie z. B. vom Zürichsee (MINDER 1923, 34, 38-43). Im Gegensatz zur Schweiz aber verfügen wir leider nicht über systematische Seenbeobachtungen, die 70 Jahre und mehr zurückreichen. Für unsere Seen kann also nicht gesagt werden, wann dieser Eutrophierungsprozeß begonnen und wie er sich bis zum heutigen Tage entwickelt hat. Auf Grund von Sichttiefenbestimmungen aus älterer Literatur kann zwar angenommen werden, daß dieser Vorgang im Zeitraum der letzten 50 Jahre begonnen hat, aber wann und wie, bleibt für uns im dunkeln.

Die vorliegende Arbeit würde nun ihren Sinn und Zweck völlig erreichen, wenn sie den Anstoß zu systematischen Untersuchungen an unseren Obb. Seen geben würde. Dabei müßte zunächst mit der genauen Überprüfung der morphologischen Angaben begonnen werden. Es stellte sich nämlich heraus, daß die älteren Daten heute vielfach den Untersuchungen mit modernen Geräten nicht mehr standhalten. Gerade genaue morphologische Kenntnisse über einen See sind jedoch die Voraussetzung für weitere Beobachtungen. Für die Sauerstoffuntersuchungen würde dabei genügen, wenn diese lediglich zu den sog. kritischen Zeitpunkten an den Seen durchgeführt werden, also etwa am Ende der Sommerstagnation. Eine Beobachtung nach der Frühjahrszirkulation würde weiterhin Aufschluß geben, ob die Herbst- und Frühjahrszirkulation noch ausreichen, um die eutrophen Merkmale wieder zu verwischen, oder ob letztere bereits das ganze Jahr über erhalten bleiben.

Mit solchen Untersuchungen würde auch endlich einem Wunsche ULES Genüge getan, der vor bald 60 Jahren in seiner Würmseearbeit (1901, S. 4) schrieb: „Es wäre in der Tat an der Zeit, daß endlich die Erforschung unserer Binnenseen von der Regierung in die Hand genommen würde.“

LITERATURVERZEICHNIS

- AMMANN, H.: Physikalische und biologische Beobachtungen an oberbayerischen Seen. — Diss. München 1912.
- APIAN: Topographie von Bayern. — Herausgeg. v. d. Historischen Verein v. Oberbayern München 1880.
- AUFSESS, O. v.: Die physikalischen Eigenschaften der Seen. — Die Wissenschaft. Braunschweig 1905.
- BIRGE, E. A., and JUDAY, CH.: The Inland Lakes of Wisconsin. The dissolved gases of the water and their biological significance. — Wisconsin Geological and Natural History Survey Bull. Nr. XXII.
- BURZ, J.: Geologische und hydrographische Untersuchungen im Ammerdelta. — Diss. München 1951.
- BURZ, J.: Der Wärmehaushalt des Ammersees. — Herausgeg. v. Bund Naturschutz in Bayern e.V. München 1951.
- FOREL, F. A.: Handbuch der Seenkunde. — Bibliothek geographischer Handbücher. Stuttgart 1901.
- GEISTBECK, A.: Die Seen der deutschen Alpen. — Leipzig 1885.
- GESSNER, F.: Der Chlorophyllgehalt der Seen als Ausdruck ihrer Produktivität. — Arch. Hydrobiol. XL (Aug. Thienemann-Festband), 687—732.
- GROTE, A.: Der Sauerstoffhaushalt der Seen. — Die Binnengewässer. Stuttgart 1934.
- HOPPE-SEYLER: Über die Verteilung absorbierter Gase im Wasser des Bodensees und ihre Beziehungen zu den in ihm lebenden Tieren und Pflanzen. — Schrift. Ver. f. Geschichte des Bodensees und seine Umgebung. 24. 1895.
- KLUT-OLSZEWSKI: Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle, seine Beurteilung und Aufbereitung. — Berlin 1943.
- LIBURNAU, L. v.: Physikalische Verhältnisse und Verteilung der Organismen im Quarnerischen Golf. — Wien 1863 (S. 83).
- LUNGE, G.: Die Wasserversorgung von Zürich. — Zürich, 104.
- MAURER, H.: Hilfstabelle f. Umkippthermometer: Nach der graph. Tafel von H. Maurer. — Ann. d. Hydr. 1933, S. 385.
- MINDER, L.: Über biogene Entkalkung im Zürichsee. — Verh. d. Intern. Ver. f. Limnologie. 1. Stuttgart 1923.
- MINDER, L.: Die Sauerstoffverhältnisse des Zürichsees im Wandel der letzten Jahrzehnte. — Vjschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich 1934.
- MINDER, L.: Der Zürichsee als Eutrophierungsphänomen. Summarische Ergebnisse aus 50 Jahren Zürichseeforschung. — Geologie d. Meere und Binnengewässer. 2. Berlin 1938.
- MINDER, L.: Neuere Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt und die Eutrophie des Zürichsees. — Arch. f. Hydrobiol. Bd. XL. (Aug. Thienemann-Festband) Heft 1. S. 279—304. 1943.
- PANKNIN, W.: Vorschläge zu einer einheitlichen Nomenklatur chemischer Daten, bei hydrochemischen Untersuchungen. — Archiv für Hydrobiologie, Band 38, 1942.
- PENCK, A.: Die Vergletscherung der deutschen Alpen. — Leipzig 1882.
- PENCK, A.: Morphologie I. — Stuttgart 1894.

- PENCK, A.: Glaziale Krustenbewegungen. — Sitzungsber. d. Pr. Akad. d. Wiss. XXIV 1922.
- RICHTER, ED.: Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen. — Verh. d. IX. deutschen Geographentages in Wien 1891.
- RIEDEL, A. v.: Strom-Atlas v. Bayern. München 1806.
Repertorium des topogr. Atlasblattes Wolfratshausen 1820.
- RUTTNER, F.: Über einige bei der Untersuchung der Lunzer Seen verwendete Apparate und Gerätschaften. — Int. Revue d. ges. Hydrobiologie und Hydrographie. 6. 1913.
- RUTTNER, F.: Grundriß der Limnologie. — Walter de Gruyter & Co. Berlin 1940.
- SCHLAGINTWEIT-SAKÜLÜNSKI, H. v.: Über Temperatur von Alpenseen in großen Tiefen, nach Beob. am Starnberger- und Chiemsee. — Sitz. Ber. d. K. b. Akad. d. Wissensch. München 1867.
- SCHUMACHER, A.: Eine neue Berichtigungsformel für das Tiefsee-Umkippthermometer. — Ann. d. Hydr. 1933, S. 77.
- SECCHI, A.: Esperienze per determinare la trasparenza del mare. In Q. Cialdi, Sul moto ondoso del mare, p. 258, Roma 1866.
- THIENEMANN, A.: Physikalische u. chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel. — I. II. Verhandl. d. Naturhist. Vereins der Preuß. Rheinlande und Westfalens, 70. u. 71. Jahrg., 1913.
- THIENEMANN, A.: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. Ein Beitrag zur Seectypenlehre. — Die Binnengewässer, Band IV, 1928.
- ULE, W.: Der Würmsee in Oberbayern, eine limnologische Studie. — Wiss. Veröff. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig 1901.
- ULE, W.: Der Würmsee in Oberbayern, eine limnologische Studie. — Atlas — Wiss. Veröff. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig 1901.
- ULE, W.: Studien am Ammersee in Obb. — Landesk. Forsch. herausgeg. v. d. Geogr. Ges. in München, H 1. 1906.
- ULE, W.: Physiogeographie des Süßwassers. — Enzyklopädie der Erdkunde, Leipzig und Wien 1925.
- WERESZAGIN, G. J.: Methoden der hydrochemischen Analyse in der limnologischen Praxis. — Stuttgart 1931.
- WILHELM, F.: Phys. u. chem. Untersuchungen an Quellen in d. Bayer. Alpen und im Alpenvorland. — Diss. München 1954.
- WILHELM, F.: Vorl. Bericht üb. d. Temperatur- und Sauerstoffaufnahme im Schliersee 1956. — Wässer und Abwässer. Heft 19, 1958.
- ZORELL, F.: Neuauslotung Obb. Seen. — Mitt. d. Geogr. Ges. in München, 1951.
- ZORELL, F.: Hydrographische Station Ostersee, Iffeldorf Obb. — Berichte zur Deutschen Landeskunde 11. Bd. 1952.
- ZORELL, F.: Zur Frage des Trophiezustandes einiger oberbayerischer Seen. — Arch. f. Hydrobiol. Stuttgart 1954.

Auskünfte erteilt:

Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde, München, Prinzregentenstraße 24.

Wetteramt München, München 15, Bavariaring 10.

ABBILDUNGEN

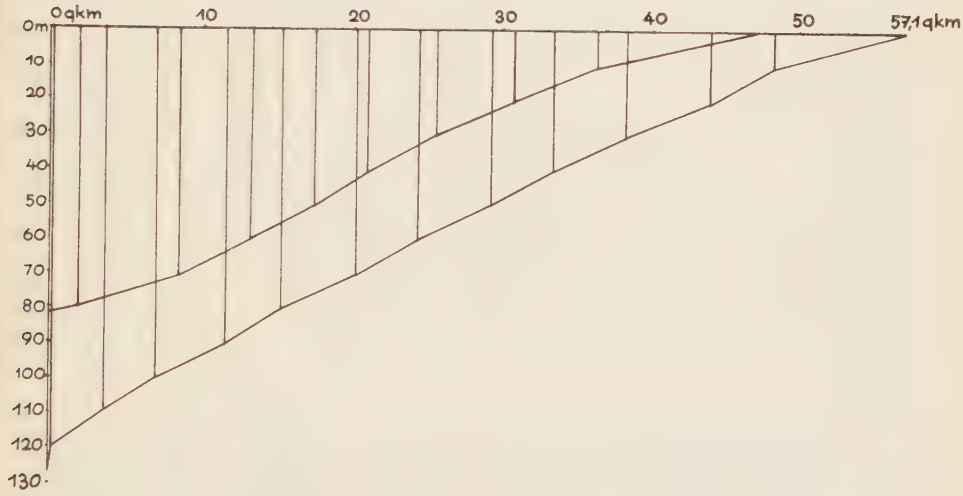


Abb. 1: Hypsografische Kurve des Würm- und Ammersees (zu S. 14).

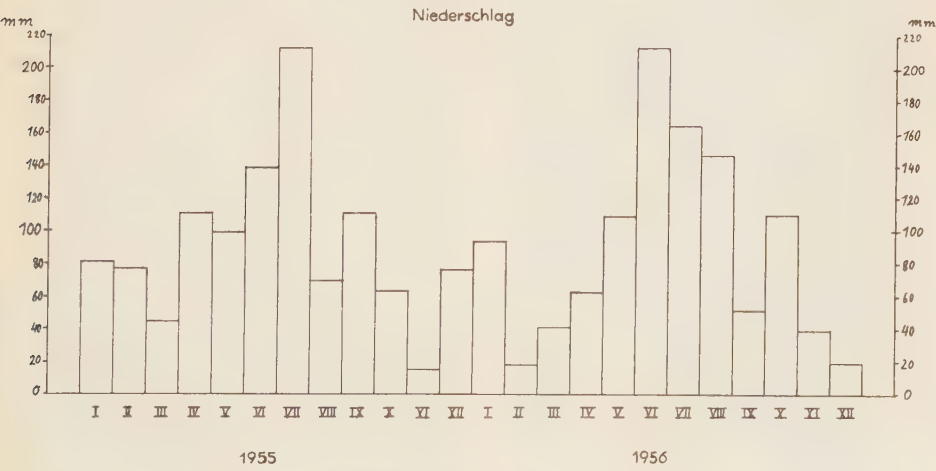


Abb. 2: Monatsmittel des Niederschlages für 1955 u. 1956 (zu S. 18).

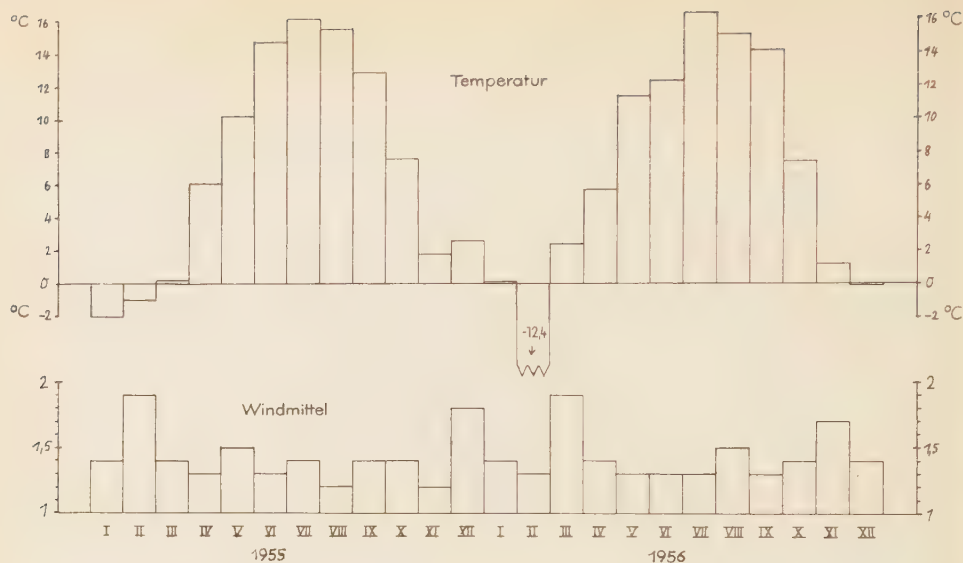


Abb. 3: Temperatur- und Windmittel für 1955 u. 1956 (zu S. 18).

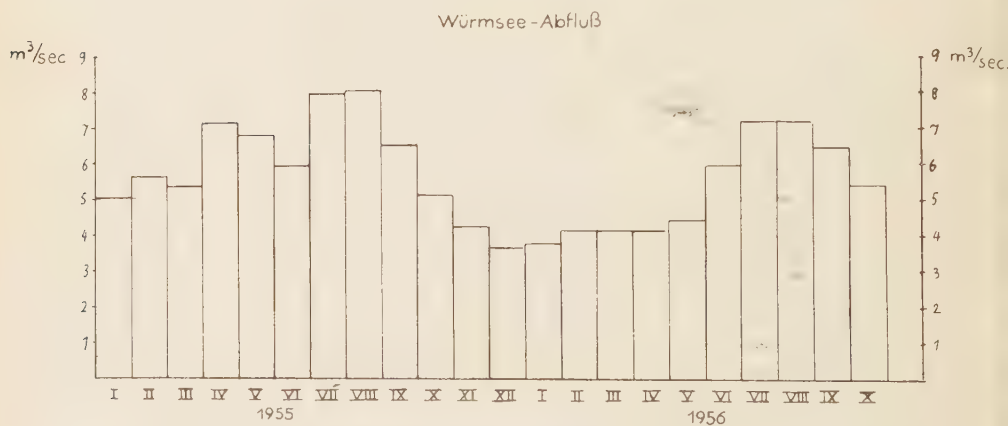


Abb. 4: Monatsmittel der Abflußmengen aus dem Würmsee, gemessen in m^3/sec (zu S. 19).

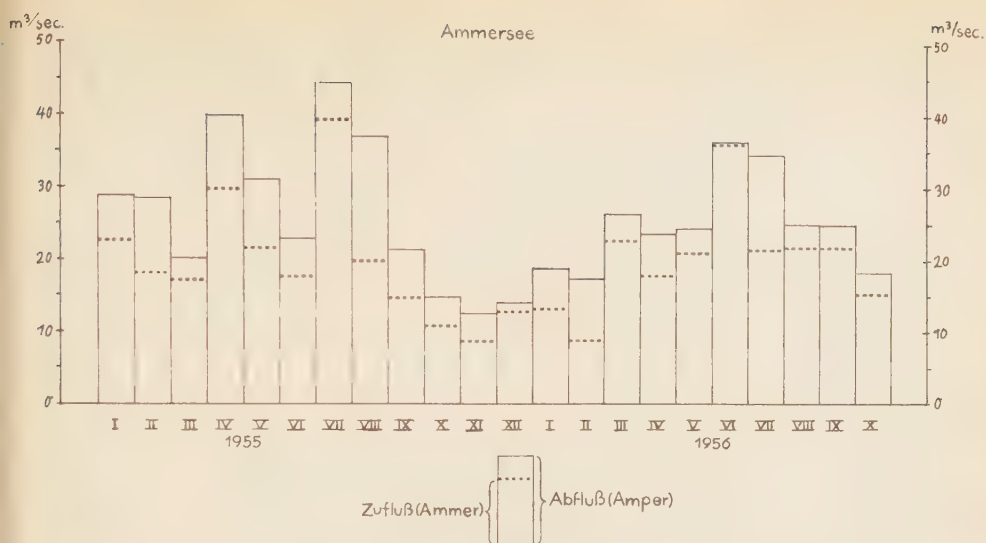


Abb. 5: Monatsmittel der Zu- und Abflußmengen für den Ammersee, gemessen in m^3/sec (zu S. 19).



Abb. 6: Ruttnerschöpfer geöffnet.

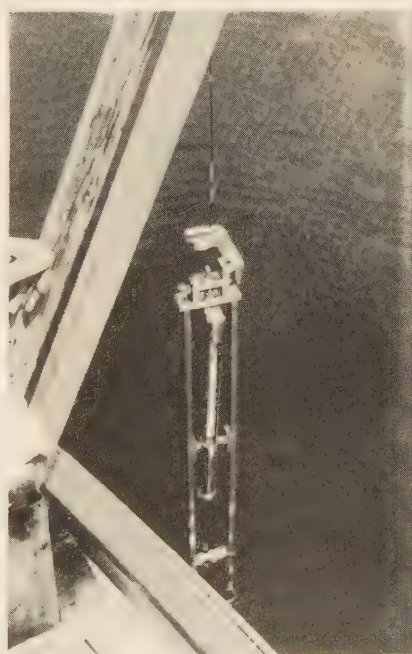


Abb. 7: Umkippthermometer vor der Messung.

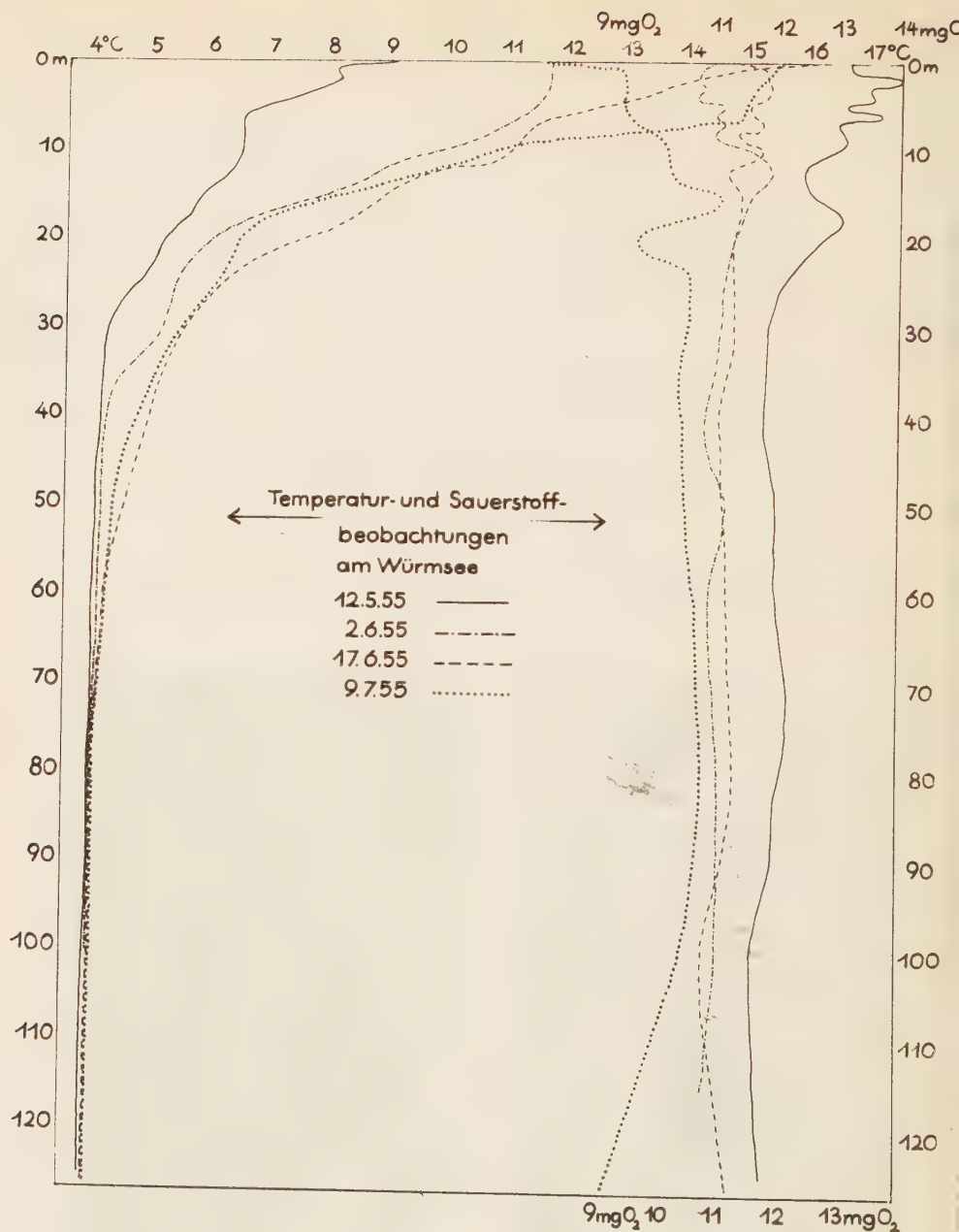


Abb. 8: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 12. 5. 1955 bis 9. 7. 1955 (zu S. 30).

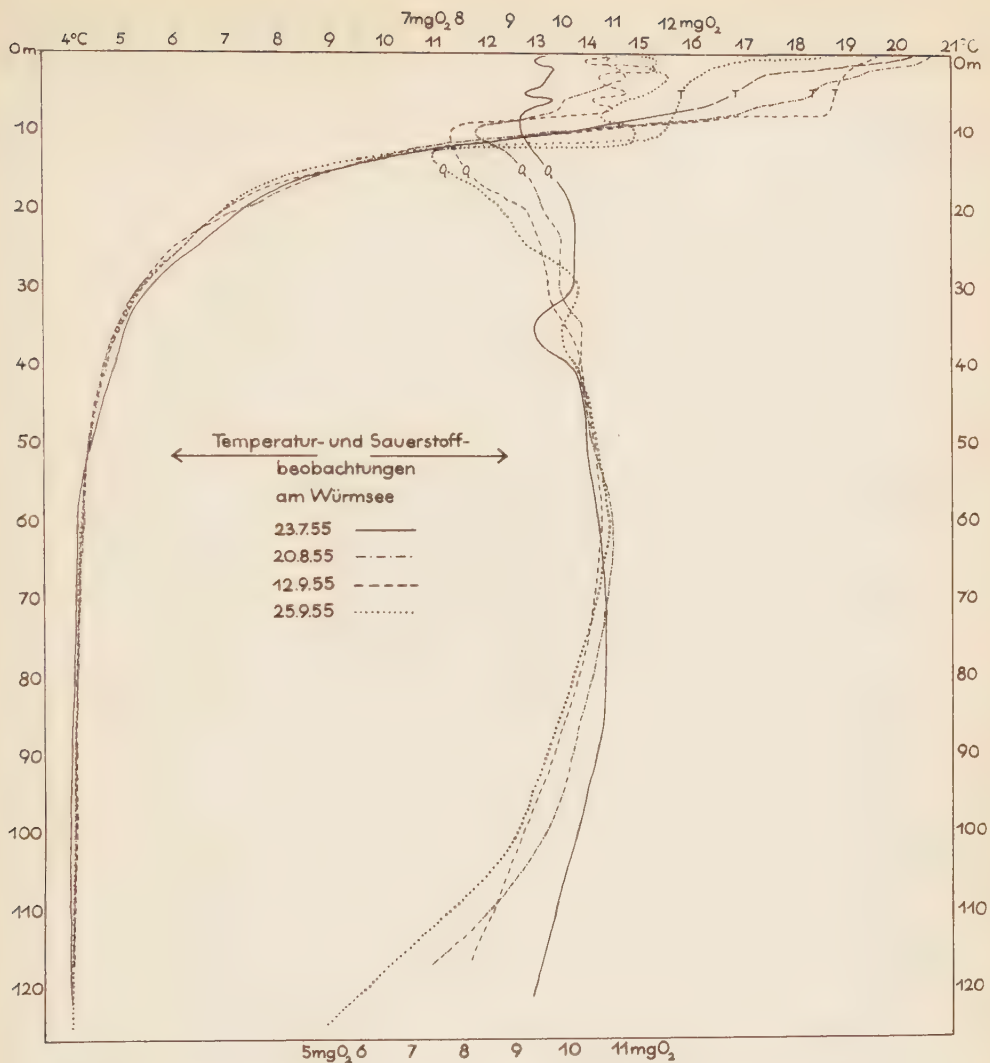


Abb. 9: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 23. 7. 1955 bis 25. 9. 1955 (zu S. 80).

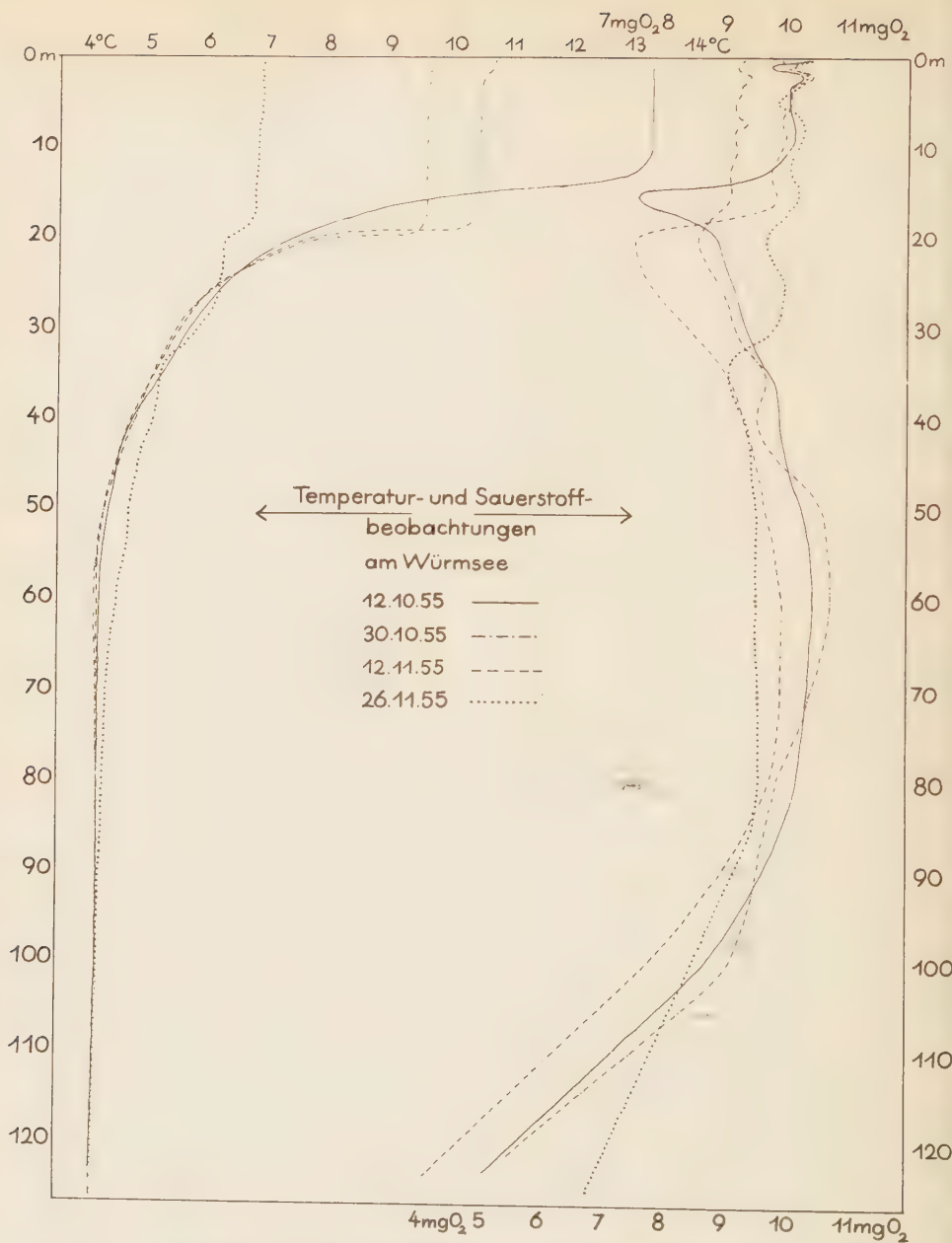


Abb. 10: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 12. 10. 1955 bis 26. 11. 1955 (zu S. 30).

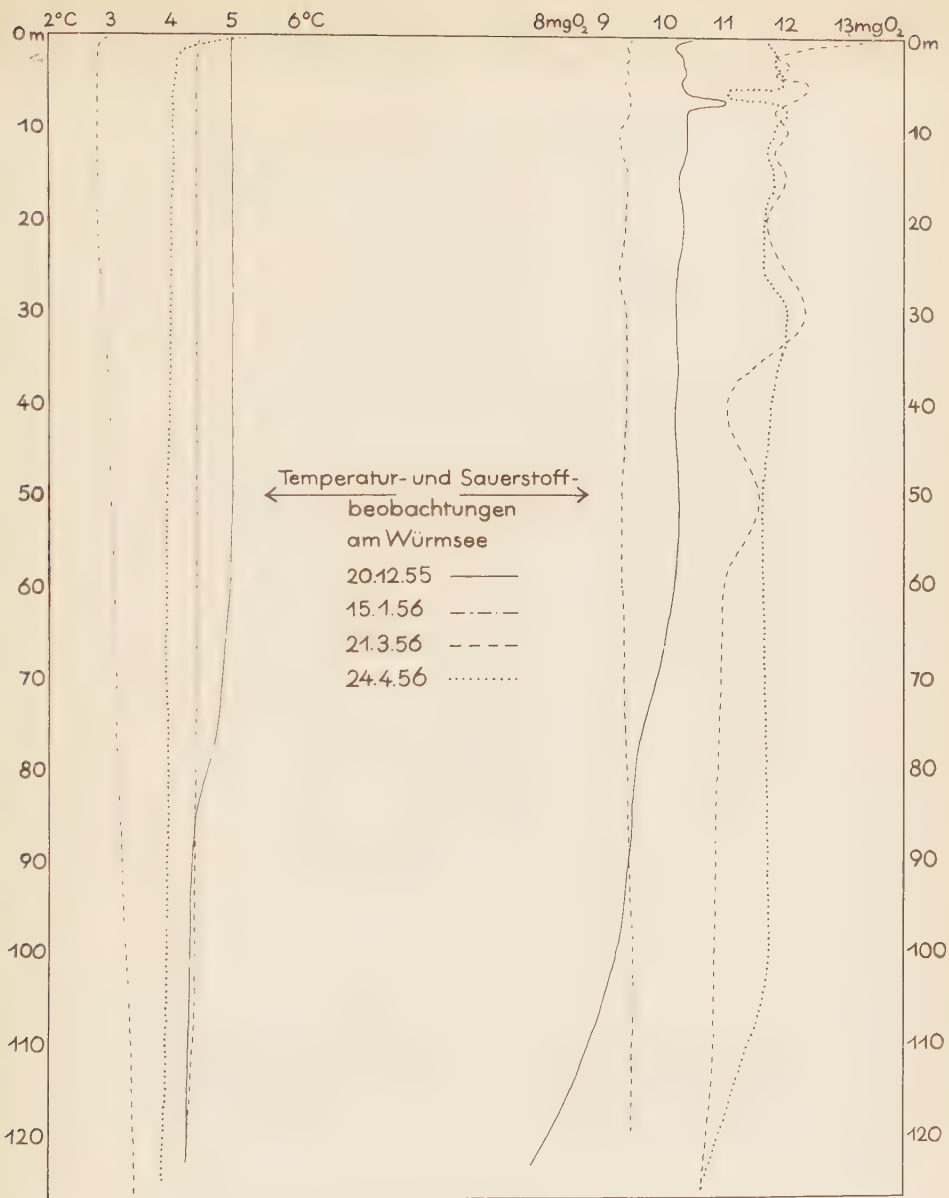


Abb. 11: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 20. 12. 1955 bis 24. 4. 1956 (zu S. 30).

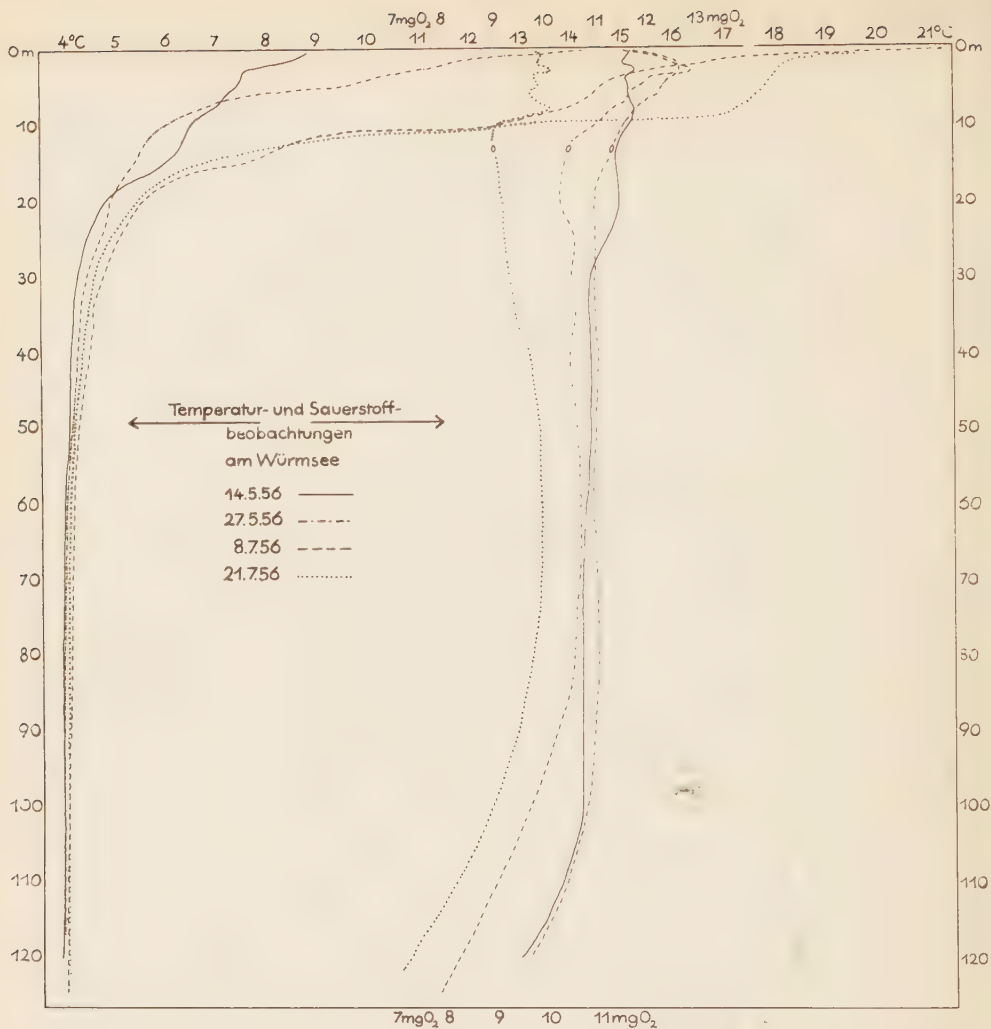


Abb. 12: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 14. 5. 1956 bis 21. 7. 1956 (zu S. 30).

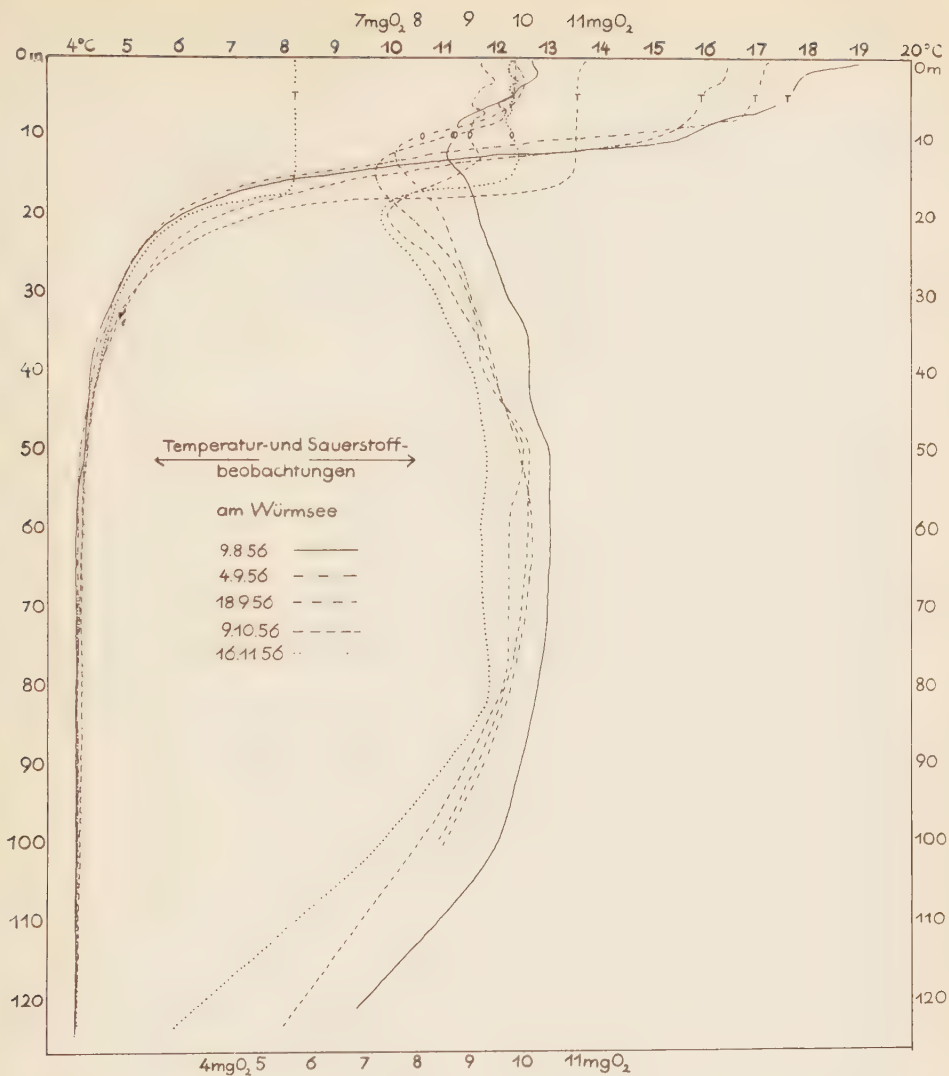


Abb. 13: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Würmseebeobachtungen vom 9. 8. 1956 bis 16. 11. 1956 (zu S. 30).

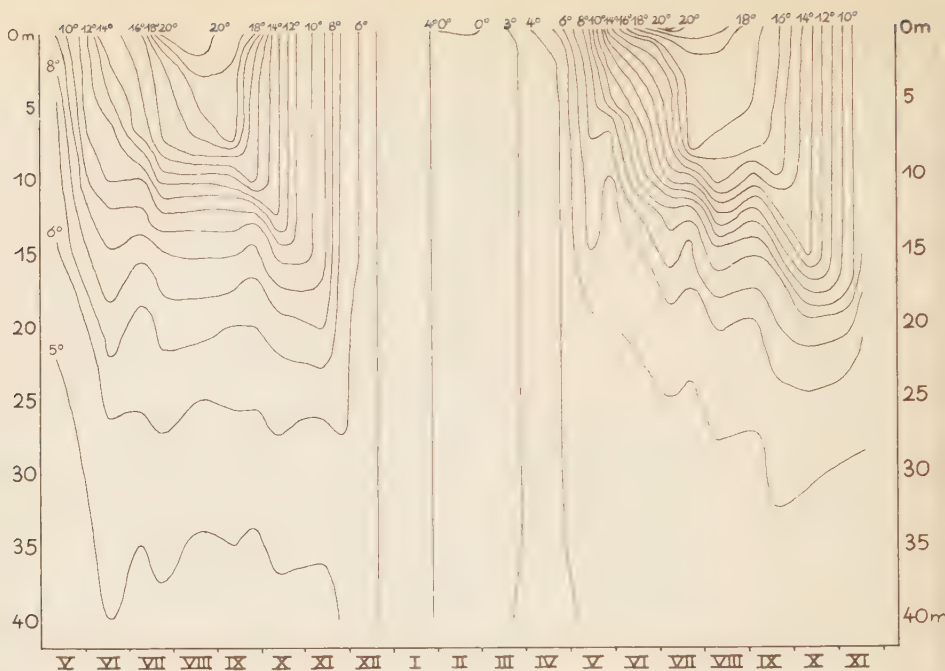


Abb. 14: Thermoisoplethendiagramm für die Würmseebeobachtungen von Mai 1955 bis November 1956 (zu S. 50).

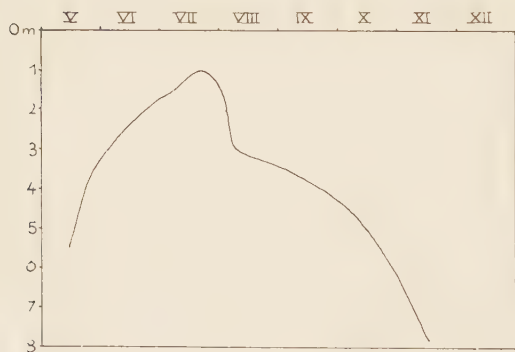


Abb. 15: Sichttiefen am Würmsee (Sommer 1956).

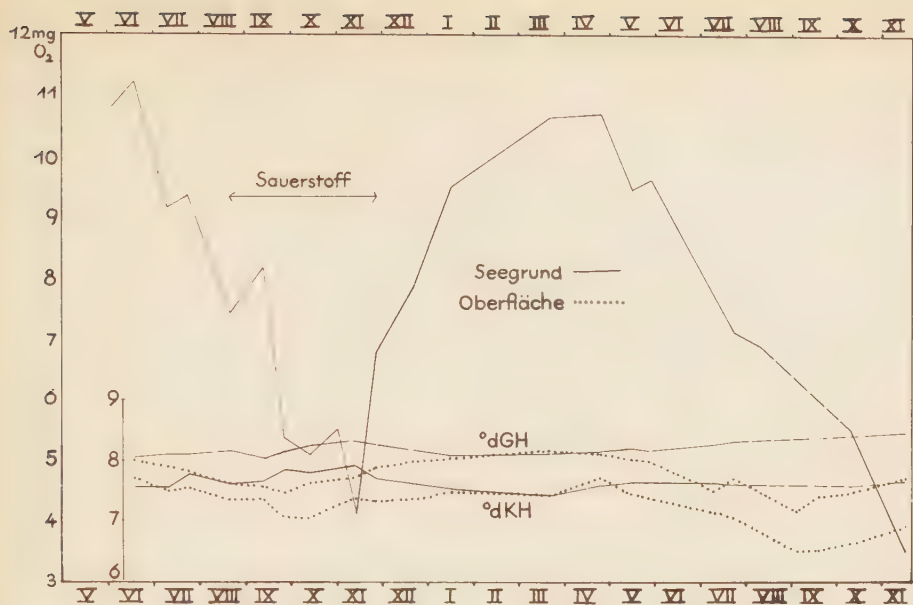


Abb. 16: Sauerstoff (mg/l) und Wasserhärte (°dGH) während der Würmseebeobachtungen von 1955 und 1956 (zu S. 52).

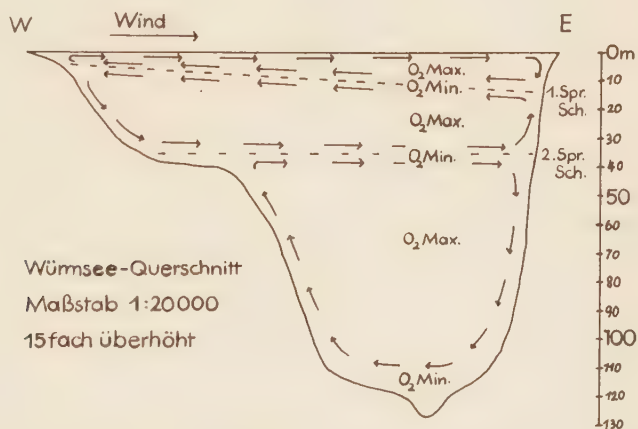


Abb. 17: Zirkulation im Würmsee (durch W-Wind) (zu S. 55).

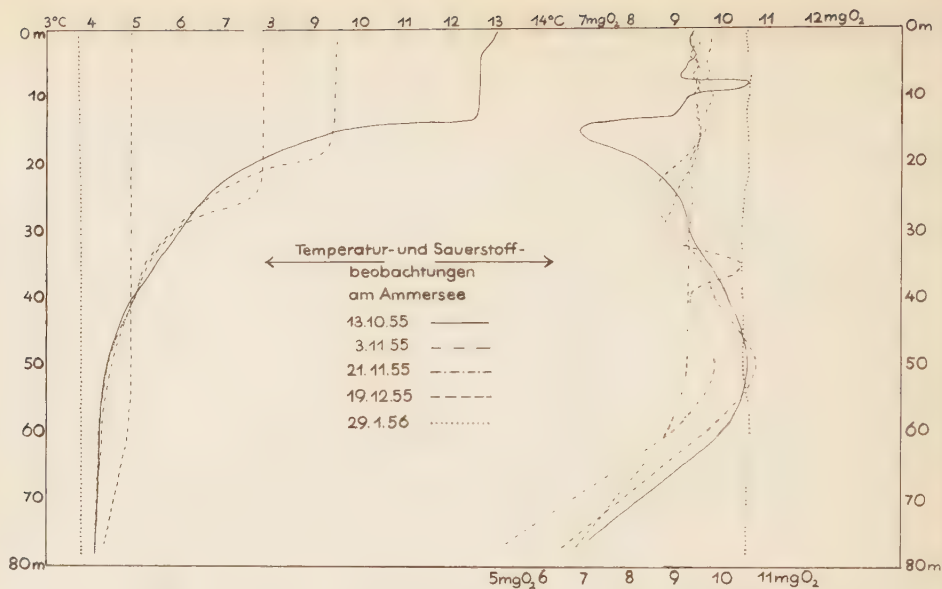


Abb. 18: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Ammerseebeobachtungen vom 13. 10. 1955 bis 29. 1. 1956 (zu S. 56).

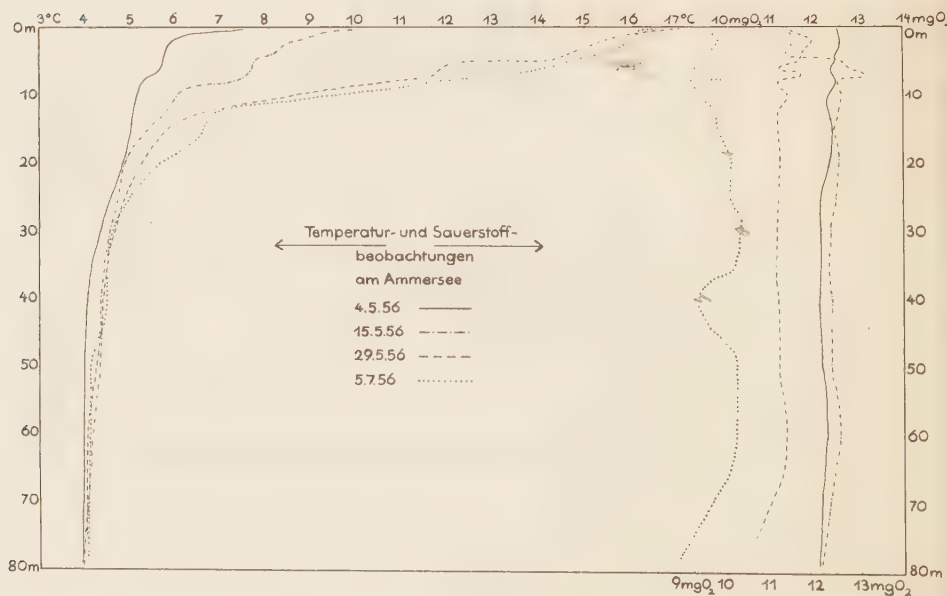


Abb. 19: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Ammerseebeobachtungen vom 4. 5. 1956 bis 5. 7. 1956 (zu S. 56).

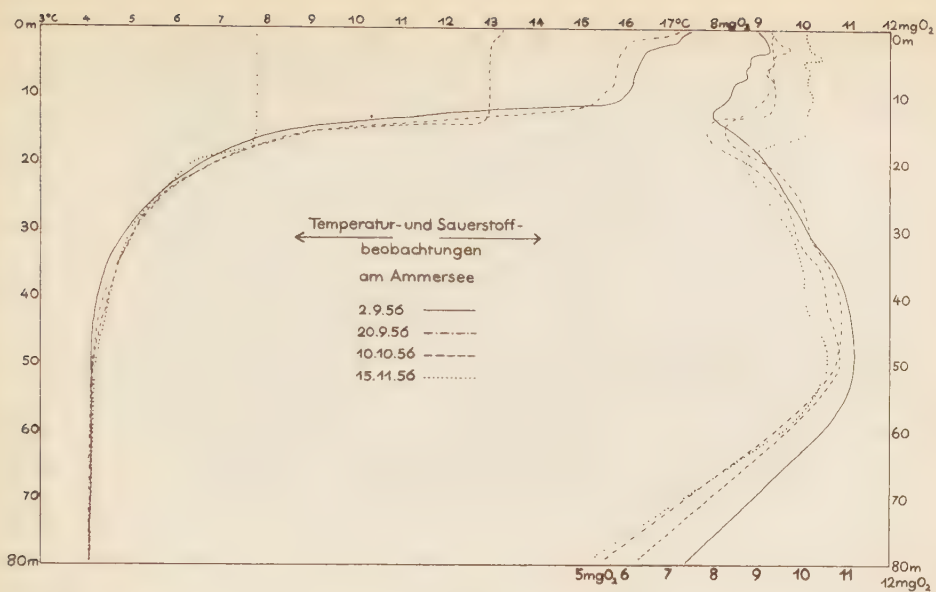


Abb. 20: Temperatur- und Sauerstoffkurven für die Ammerseebeobachtungen vom 2. 9. 1956 bis 15. 11. 1956 (zu S. 56).

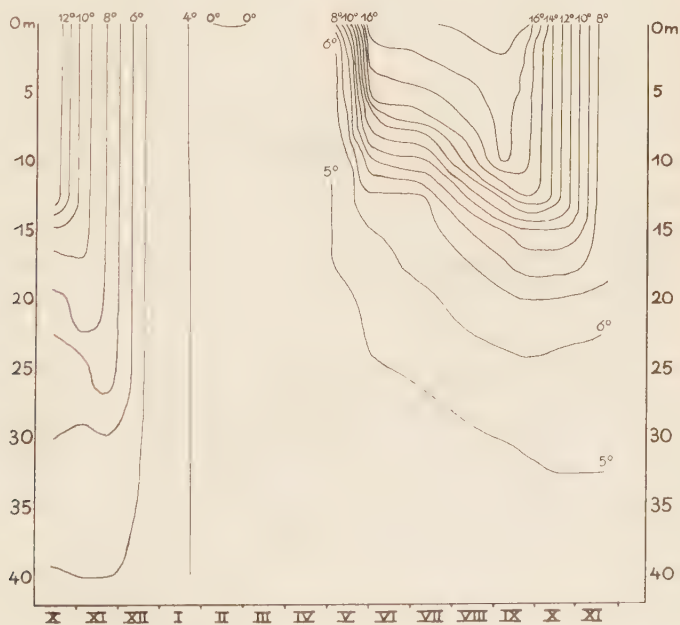


Abb. 21: Thermoisoplethendiagramm für die Ammerseebeobachtungen von Oktober 1955 bis November 1956 (zu S. 66).

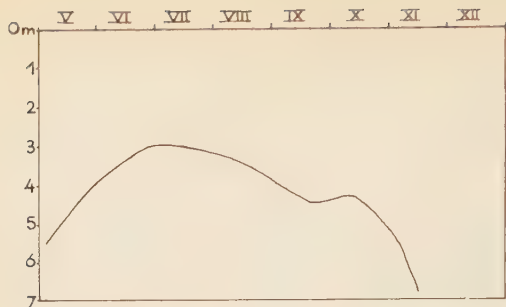


Abb. 22: Sichttiefen am Ammersee in der Beobachtungszeit vom Sommer 1956 (zu S. 66).

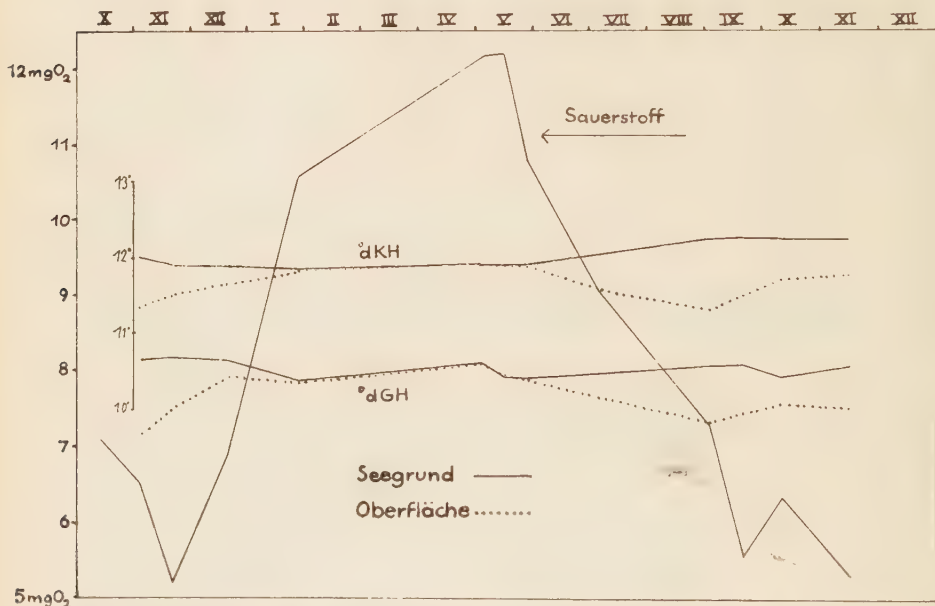


Abb. 23: Sauerstoff (mg/l) und Wasserhärte (°dH) während der Ammerseebeobachtungen von 1955 und 1956 (zu S. 67).

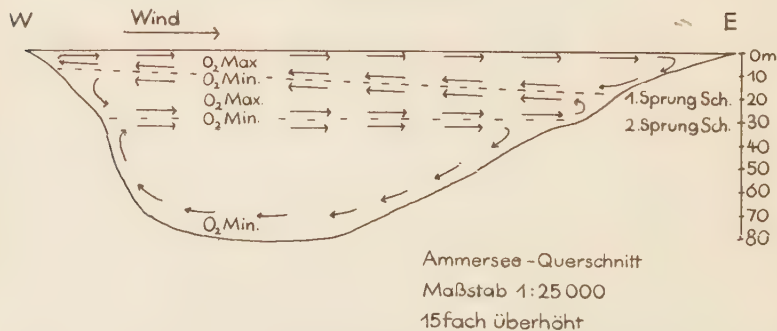


Abb. 24: Zirkulation im Ammersee (durch W-Wind) (zu S. 69).



Abb. 25

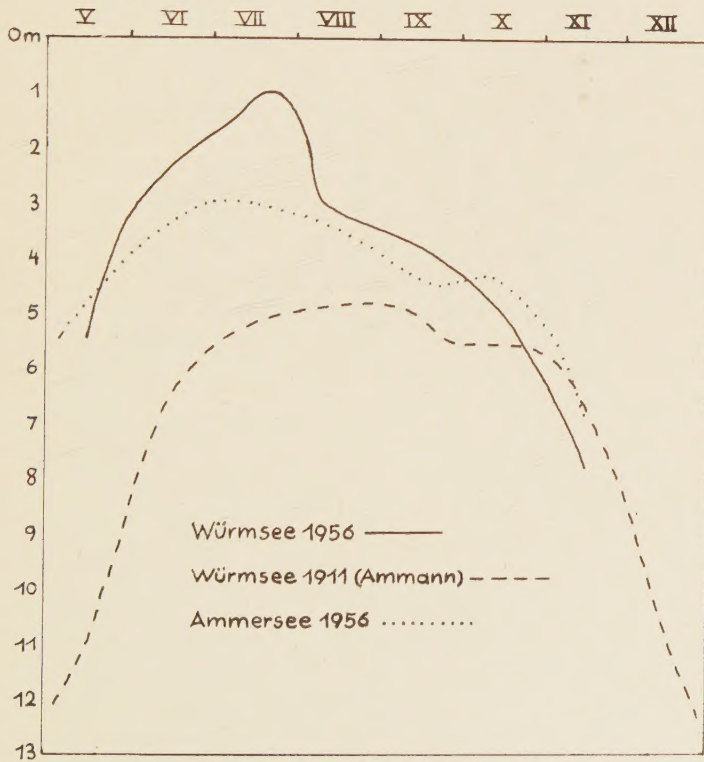
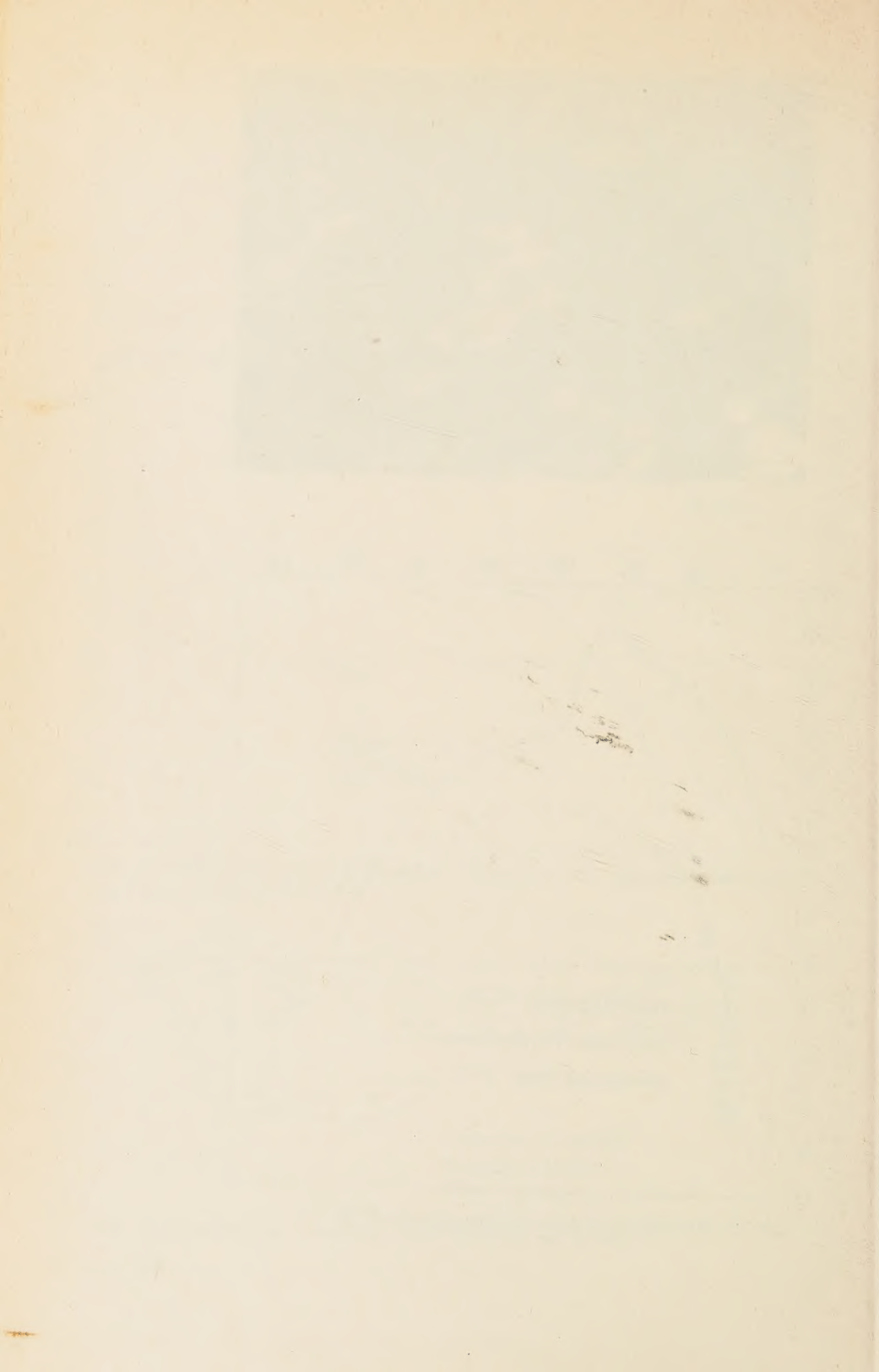


Abb. 26: Sichttiefen im Würm- und Ammersee (zu S. 73).



Lebenslauf

Am 30. 9. 1933 wurde ich als Sohn des Polizeibeamten Hermann Wachter und seiner Ehefrau Maria, geb. Bihlmaier, in Monheim, Lkr. Donauwörth, geboren. Die Volksschule besuchte ich in Dirlewang, Lkr. Mindelheim und bis Kriegsende die Oberrealschule in Mindelheim. Anschließend war ich am Hum. Gymnasium in St. Ottilien und kurze Zeit wieder in Mindelheim. Auf Grund einer Versetzung meines Vaters wechselte ich erneut die Schule und kam nach Günzburg, wo ich 1952 das Abitur machte. Mein Hochschulstudium begann ich an der Phil.-Theol. Hochschule in Bamberg mit den Fächern Erdkunde, Chemie und Biologie. Im Sommer 1954 setzte ich mein Studium in München fort. Ein Jahr später erhielt ich von Dr. F. Zorell die Anregung zu dieser Arbeit, deren Betreuung nach seinem überraschenden Tode Prof. Dr. H. Louis übernahm.

